

**Reglamento CIRSOC 104**  
**Ministerio de Planificación Federal,**  
**Inversión Pública y Servicios**  
**Secretaría de Obras Públicas de la Nación**

**INTI**

Instituto Nacional de  
Tecnología Industrial



**CIRSOC**

Centro de Investigación de los  
Reglamentos Nacionales de  
Seguridad para las Obras Civiles



***COMENTARIOS AL***  
***REGLAMENTO ARGENTINO***  
***DE ACCIÓN DE LA NIEVE***  
***Y DEL HIELO SOBRE LAS***  
***CONSTRUCCIONES***

**Julio 2005**

**En trámite de  
aprobación**

***COMENTARIOS AL  
REGLAMENTO ARGENTINO DE  
ACCIÓN DE LA NIEVE Y  
DEL HIELO SOBRE  
LAS CONSTRUCCIONES***

***EDICIÓN JULIO 2005***



Balcarce 186 1° piso - Of. 138  
(C1064AAD) Buenos Aires – República Argentina  
TELEFAX. (54 11) 4349-8520 / 4349-8524

E-mail: [cirsoc@inti.gov.ar](mailto:cirsoc@inti.gov.ar)  
[cirsoc@mecon.gov.ar](mailto:cirsoc@mecon.gov.ar)

INTERNET: [www.inti.gov.ar/cirsoc](http://www.inti.gov.ar/cirsoc)

*Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado*

*Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani*

*Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno*

*Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega*

*Área Administración, Finanzas y Promoción: Lic. Mónica B. Krotz*

*Área Venta de Publicaciones: Sr. Néstor D. Corti*

© 2008

Editado por INTI

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4313-3013

Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados.  
Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina.

Printed in Argentina.



## **ORGANISMOS PROMOTORES**

Secretaría de Obras Públicas de la Nación  
Subsecretaría de Vivienda de la Nación  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Instituto Nacional de Prevención Sísmica  
Ministerio de Hacienda, Finanzas y Obras Públicas de la Provincia del Neuquén  
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires  
Dirección Nacional de Vialidad  
Vialidad de la Provincia de Buenos Aires  
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas  
Cámara Argentina de la Construcción  
Consejo Profesional de Ingeniería Civil  
Cámara Industrial de Cerámica Roja  
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland  
Instituto Argentino de Normalización  
Techint  
Acindar

## **MIEMBROS ADHERENTES**

Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón  
Asociación Argentina de Hormigón Estructural  
Asociación Argentina de Hormigón Elaborado  
Asociación Argentina del Bloque de Hormigón  
Asociación de Ingenieros Estructurales  
Centro Argentino de Ingenieros  
Instituto Argentino de Siderurgia  
Telefónica de Argentina  
Transportadora Gas del Sur  
Quasdam Ingeniería  
Sociedad Central de Arquitectos  
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica  
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires  
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines  
Cámara Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil

## **Reconocimiento Especial**

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente a las Autoridades de la American Society of Civil Engineers (ASCE) y del Structural Engineering Institute (SEI) por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de este Reglamento, los Capítulos 7 y 10 del documento “Minimum Design Loads for Building and Other Structures” conocido como SEI/ASCE 7-02 (Revisión del documento ASCE 7-98).*

**ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DE  
LOS**

**COMENTARIOS AL  
REGLAMENTO ARGENTINO DE  
ACCIÓN DE LA NIEVE Y DEL  
HIELO SOBRE LAS  
CONSTRUCCIONES**

**CIRSOC 104**

**Ing. Raúl Curutchet**

**COLABORADORES:**

**Ing. Alicia Aragno**  
Coordinadora Área Acciones  
INTI-CIRSOC

# INDICE GENERAL

## COMENTARIOS A LA ACCIÓN DE LA NIEVE SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES	1
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2. CARGAS DE NIEVE SOBRE EL TERRENO, $p_g$	3
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 3. CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS PLANAS, $p_f$	7
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4. CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS CON PENDIENTE, $p_s$	11
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5. CARGAS PARCIALES	15
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS	17
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7. NIEVE ACUMULADA POR ARRASTRE DEL VIENTO SOBRE CUBIERTAS MÁS BAJAS (SOMBRA AERODINÁMICA)	19
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 8. SALIENTES DE CUBIERTA	23
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 9. NIEVE CAÍDA POR DESLIZAMIENTO	25
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 10. CARGA DE LLUVIA SOBRE NIEVE	27
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 11. INESTABILIDAD POR ACUMULACIÓN DE AGUA	29
COMENTARIOS AL CAPÍTULO 12. CUBIERTAS EXISTENTES	31

<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 13. OTRAS CUBIERTAS Y LUGARES</b>	<b>33</b>
<b>EJEMPLOS</b>	<b>35</b>
 <b>COMENTARIOS A LA ACCIÓN DEL HIELO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES</b>	
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES</b>	<b>43</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2. DEFINICIONES</b>	<b>45</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4. CARGAS DE HIELO DEBIDAS A LA LLUVIA CONGELANTE</b>	<b>49</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5. VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS CUBIERTAS DE HIELO</b>	<b>53</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6. CARGA PARCIAL</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>57</b>

# **INDICE COMENTARIOS**

## **ACCIÓN DEL HIELO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES**

### **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES**

C 1.1. ESTUDIOS EN LUGARES ESPECÍFICOS 43

C 1.2. CARGAS DINÁMICAS 44

### **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2. DEFINICIONES 45**

### **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4. CARGAS DE HIELO DEBIDAS A LA LLUVIA CONGELANTE**

C 4.1. PESO DEL HIELO 49

C 4.2. ESPESOR NOMINAL DEL HIELO 49

C 4.4. FACTOR DE IMPORTANCIA 50

C 4.6. ESPESOR DE HIELO DE DISEÑO PARA LLUVIA CONGELANTE 50

### **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5. VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS CUBIERTAS DE HIELO 53**

### **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6. CARGA PARCIAL 55**

### **REFERENCIAS 57**



# INDICE COMENTARIOS

## ACCIÓN DE LA NIEVE SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES</b>	<b>1</b>
METODOLOGÍA	1
CARGAS QUE EXCEDEN EL VALOR DE DISEÑO	2
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2. CARGAS DE NIEVE SOBRE EL TERRENO, <math>p_g</math></b>	<b>3</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 3. CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS PLANAS, <math>p_f</math></b>	<b>7</b>
C 3.1. FACTOR DE EXPOSICIÓN, $C_e$	7
C 3.2. FACTOR TÉRMICO, $C_t$	8
C 3.3. FACTOR DE IMPORTANCIA, $I$	10
C 3.4. VALORES MÍNIMOS DE $p_f$ PARA CUBIERTAS CON BAJA PENDIENTE	10
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4. CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS CON PENDIENTE, <math>p_s</math></b>	<b>11</b>
C 4.3. FACTOR DE PENDIENTE PARA CUBIERTAS CURVAS	13
C 4.4. FACTOR DE PENDIENTE DE CUBIERTA PARA PLACAS CON PLEGADO PLEGADO MÚLTIPLE, DIENTES DE SIERRA Y BÓVEDAS CILÍNDRICAS	13
C 4.5. DIQUES DE HIELO Y CARÁMBANOS A LO LARGO DE LOS ALEROS	13
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5. CARGAS PARCIALES</b>	<b>15</b>
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS</b>	<b>17</b>

C 6.1. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS A DOS Y CUATRO AGUAS	17
C 6.2. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS CURVAS	17
C 6.3. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE PLACAS CON PLEGADO MÚLTIPLE, DIENTES DE SIERRA Y BÓVEDAS CILÍNDRICAS	18
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7. NIEVE ACUMULADA POR ARRASTRE DEL VIENTO SOBRE CUBIERTAS MÁS BAJAS (SOMBRA AERODINÁMICA)</b>	19
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 8. SALIENTES DE CUBIERTA</b>	23
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 9. NIEVE CAÍDA POR DESLIZAMIENTO</b>	25
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 10. CARGA DE LLUVIA SOBRE NIEVE</b>	27
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 11. INESTABILIDAD POR ACUMULACIÓN DE AGUA</b>	29
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 12. CUBIERTAS EXISTENTES</b>	31
<b>COMENTARIOS AL CAPÍTULO 13. OTRAS CUBIERTAS Y LUGARES</b>	33
<b>EJEMPLOS</b>	
<b>Ejemplo 1</b>	35
<b>Ejemplo 2</b>	37
<b>Ejemplo 3</b>	39

# COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1.

## REQUISITOS GENERALES

### METODOLOGÍA

El procedimiento establecido para determinar las cargas de nieve de diseño es el siguiente:

1. Determinar la carga de nieve a nivel del terreno para el lugar específico del emplazamiento (Capítulo 2 y sus Comentarios).
2. Generar una carga de nieve sobre la cubierta plana a partir de la carga a nivel del terreno considerando:
  - (a) exposición de la cubierta (artículo 3.1. y Comentarios C 3. y C 3.1.);
  - (b) condición térmica de la cubierta (artículo 3.2. y Comentarios C 3. y C 3.2.); y
  - (c) destino y función de la estructura (artículo 3.3. y Comentarios C 3.3.).
3. Considerar la pendiente de la cubierta (Capítulo 4 y Comentarios).
4. Considerar las cargas parciales (Capítulo 5 y sus Comentarios).
5. Considerar las cargas no balanceadas (Capítulo 6 y sus Comentarios).
6. Considerar la nieve acumulada por arrastre del viento:
  - (a) sobre las cubiertas más bajas (Capítulo 7 y sus Comentarios); y
  - (b) debido a salientes (Capítulo 8 y sus Comentarios).
7. Considerar la nieve caída por deslizamiento (Capítulo 9. y sus Comentarios).
8. Considerar las cargas adicionales originadas por lluvia sobre nieve (Capítulo 10 y sus Comentarios).
9. Considerar las cargas por acumulación de agua (Capítulo 11 y sus Comentarios).
10. Considerar las cubiertas existentes (Capítulo 12 y sus Comentarios).
11. Considerar otras cubiertas y sitios (Comentarios al Capítulo 13).
12. Considerar las consecuencias de la presencia de cargas que exceden al valor de diseño (desarrollado a continuación).

## CARGAS QUE EXCEDEN EL VALOR DE DISEÑO

El criterio utilizado en este Reglamento es establecer un valor de diseño que reduzca el riesgo de falla inducida por cargas de nieve a un nivel aceptablemente bajo. Debido a que puede ocurrir que las cargas de nieve excedan el valor de diseño, se deben considerar las derivaciones de tales excesos de carga. Por ejemplo, si una cubierta se flexiona con la carga de nieve de diseño, de forma tal que se elimine la pendiente para desagüe, el exceso de carga de nieve podría causar la acumulación de agua en forma de charcos (tal como se expone en los Comentarios al artículo C 11.) y probablemente una falla progresiva.

La relación carga de nieve/carga permanente actuando sobre la estructura de una cubierta es una consideración importante cuando se evalúan las derivaciones de los excesos de carga. Si se excede la carga de nieve de diseño, el incremento del porcentaje en la carga total sería mayor para una estructura liviana (con alta relación carga de nieve/ carga permanente) que para una estructura pesada (con una relación baja de carga de nieve/ carga permanente). Por ejemplo, si una carga de nieve para cubierta de **2 kN/m<sup>2</sup>** se excede en **1 kN/m<sup>2</sup>** para una cubierta que tiene **1,2 kN/m<sup>2</sup>** de carga permanente, la carga total se incrementa en un **31 %**, de **3,2 a 4,2 kN/m<sup>2</sup>**. Si la cubierta tuviera **3 kN/m<sup>2</sup>** de carga permanente, la carga total se incrementaría solo en un **20 %**, de **5 a 6 kN/m<sup>2</sup>**.

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2.

### CARGAS DE NIEVE SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO, $p_g$

Las disposiciones relativas a cargas de nieve, se establecieron para los datos históricos obtenidos en las zonas urbanas de las cabeceras de los departamentos en que políticamente se dividen nuestras provincias. Los mencionados datos se verificaron por medio de un análisis estadístico de valores extremos de registros meteorológicos de equivalentes de agua, obtenidos de las estaciones meteorológicas de la red, que se extiende en todo el país, y que depende del Servicio Meteorológico Nacional. Para estimar las cargas de estos equivalentes de nieve en agua, con **2 %** de probabilidad anual de ser superados (intervalo de 50 años de recurrencia media), se seleccionó la distribución de Gumbel.

Las cargas de nieve históricas se verificaron con las cargas a nivel del terreno, con un **2 %** de probabilidad anual de ser excedidas, las que se obtuvieron a partir de los datos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, en las que se efectuaron mediciones del equivalente de agua por un mínimo de 11 años, durante el período 1968- 1988.

El mapa de la Figura 1 se ha actualizado, modificando los valores de las cargas en aquellas estaciones donde se observó una diferencia entre el valor histórico y el estadístico. Estas estaciones son: las cabeceras de departamento Comodoro Rivadavia, Santa Cruz y San Julián y se agregaron además valores de carga de nieve para Uspallata y Villa Reynolds, donde se disponía de mediciones.

Cuando se disponga de estudios estadísticos que utilicen información fidedigna más reciente, éstos se podrán emplear como aporte que contribuya a mejorar los valores de las cargas del presente Reglamento. Sin embargo, se debe notar que agregar un año de gran nevada a los datos desarrollados a partir de períodos de registro que exceden 20 años, habitualmente no modificará mucho los valores de 50 años. También se debe tener en cuenta la siguiente información adicional al establecer zonas de carga de nieve:

1. El número de años de registro disponible en cada lugar.
2. Información meteorológica disponible.
3. Máximas cargas de nieve observadas.
4. Topografía de la región.
5. La altura del lugar.

En las regiones donde ocurren tormentas de nieve poco frecuentes pero severas, las observaciones y mediciones meteorológicas se pueden perder. En circunstancias como éstas y similares, se debe dar preponderancia a los valores estadísticos de las estaciones con registros completos. De ser posible, se deben realizar controles anuales para verificar la importancia de las brechas con falta de datos.

Las cargas de nieve en el mapa no representan las diferencias locales que pueden existir dentro de cada zona, sólo se indica el valor histórico de la cabecera de departamento, que fue verificado con los valores estadísticos obtenidos en las estaciones meteorológicas de dichas zonas.

Debido a que existen diferencias locales, para aquellos sitios que no estén incluidos en las Tablas 1.1. a 1.15., los valores de diseño se deben establecer a partir de la información meteorológica, considerando la orientación, altura y registros disponibles en cada lugar. El mismo método también se puede utilizar para mejorar los valores presentados en las Tablas 1.1. a 1.15. Los estudios detallados en un lugar específico pueden generar un valor de diseño menor que el indicado en el mapa nacional general. En tal situación, y si la autoridad jurisdiccional así lo permite, se puede usar el valor menor establecido por el estudio detallado. Lo mismo deberá suceder cuando el estudio detallado indique un valor de diseño más alto que el del mapa nacional.

El área cubierta por el estudio de un caso en un lugar específico variará dependiendo del clima y la topografía locales. En algunos lugares, el estudio de un caso único será suficiente para una comunidad entera, pero en otros, las condiciones locales variables limitarán un "lugar" a un área mucho más pequeña. El área de aplicabilidad comúnmente se aclara cuando se examina la información de los alrededores del caso en estudio.

A los fines del diseño en un lugar específico, es apropiado contar con la información de la zona circundante además de la información del lugar, ya que esta última en algunos casos, está basada sobre períodos de registro relativamente cortos. Además de los registros locales, también es importante considerar la experiencia de los habitantes del lugar.

En la Tabla C 1 se presentan los factores (razonables aunque no exactos), que permiten convertir otras probabilidades anuales de ser excedidas al valor del **2 %** utilizado en la verificación de las cargas de este Reglamento, para un intervalo de recurrencia media de 50 años.

**Tabla C 1. Factores para convertir otros valores de probabilidades anuales de ser excedidas y otros intervalos de recurrencia media distintos a aquellos especificados en este Reglamento**

Probabilidad anual de ser excedido (%)	Intervalo de recurrencia media (años)	Factor de multiplicación
10	10	1,82
4	25	1,20
3,3	30	1,15
1	100	0,82

Por ejemplo, una carga de nieve a nivel del terreno, basada sobre un **3,3 %** de probabilidad anual de ser excedida (intervalo de 30 años de recurrencia media) se debería multiplicar por **1,15** para generar el valor de  $p_g$  que se utiliza en la expresión (1).

Como antecedente importante para las disposiciones de cargas de nieve de este Reglamento, se recomiendan las referencias bibliográficas 64 y 65.

A causa de la conversión de unidades, desde el sistema inglés al Sistema Internacional (SI), en las cifras de los gráficos y expresiones de este Reglamento y sus Comentarios, se han efectuado los redondeos necesarios para evitar el exceso de cifras decimales.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 3.

### CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS PLANAS, $p_f$

Las combinaciones de cargas en las que se incluye la carga de nieve, se especifican en el Apéndice C.

La reducción de la sobrecarga que se especifica en el artículo 4.8. del Reglamento CIRSOC 101-2005, **no se debe aplicar a las cargas de nieve.**

Los valores mínimos del coeficiente  $p_f$ , especificados en el Capítulo 3 consideran que, en algunas áreas, una tormenta importante puede generar cargas que excedan a aquellas desarrolladas a partir del análisis de los registros meteorológicos y estudios de casos particulares.

Los factores especificados en este Reglamento, que contemplan las características térmicas, aerodinámicas y geométricas de la estructura en su medio circundante particular se desarrollaron en base a Normas Internacionales (referencia 64) y a la evaluación detallada de los informes de casos particulares. (referencias 14 a 22).

Los valores mínimos de  $p_f$  tienen en cuenta un número de situaciones que se desarrollan sobre las cubiertas. Estas consideraciones son particularmente importantes cuando  $p_g \leq 1 \text{ kN/m}^2$ . En ciertas áreas, las tormentas únicas pueden dar como resultado cargas para las cuales la expresión (1) y los valores de  $C_e$  y  $C_t$  especificados en las Tablas 2 y 3 respectivamente, subestimen el valor de las cargas.

#### C 3.1. FACTOR DE EXPOSICIÓN, $C_e$

Excepto en aquellas áreas de “sombra aerodinámica”, donde las cargas se incrementan debido a la acumulación de nieve arrastrada por el viento, en general, es posible observar menos nieve sobre la mayoría de las cubiertas que a nivel del terreno. El documento **ASCE 7-02** advierte que en algunos lugares las cargas sobre áreas sin obstrucciones de cubiertas planas convencionales promedian menos del **50 %** de las cargas a nivel del terreno. Los valores especificados en este Reglamento están por encima de la media, para reducir el riesgo de fallas inducidas por carga de nieve a un nivel aceptablemente bajo. Debido a la variabilidad de la acción del viento, se ha adoptado una aproximación conservativa cuando se consideran las reducciones de carga por viento.

Los efectos de la exposición se tratan en dos escalas.

- 1) la expresión (1) contiene un factor de exposición básico, de  $C_e = 0,7$ .
- 2) el tipo de terreno y la exposición de la cubierta son considerados a través del factor de exposición  $C_e$ .

Este procedimiento de dos pasos genera reducciones de carga "nivel del terreno a cubierta", en función de la exposición y con una amplitud que va de **0,49** a **0,91**.

Aunque hay una sola categoría de terreno "regional" para un lugar específico, diferentes cubiertas de una estructura pueden tener diferentes factores de exposición debido a la obstrucción generada por aquellas partes más altas de la estructura o por objetos sobre la cubierta. Por ejemplo, para una exposición de categoría **C**, un nivel de cubierta superior puede estar completamente expuesto, o sea  $C_e = 0,9$ , mientras que una cubierta de nivel más bajo estaría parcialmente expuesta,  $C_e = 1,0$ , debido a la presencia del nivel de cubierta superior, tal como se indica en el Ejemplo 3 de estos Comentarios.

El adjetivo "barrido por el viento" se utiliza en la categoría de terreno "área montañosa" para evitar el uso de esta categoría en aquellos valles de alta montaña que reciben poco viento.

En este Reglamento el valor de la reducción normal por exposición combinada será igual a **0,70**. Esta reducción no representa disminución de la seguridad, debido al gran número de elecciones posibles de clasificaciones térmicas y de exposición para las cubiertas (seis categorías de terreno, tres categorías de exposición de cubierta y cuatro categorías térmicas).

En la bibliografía se comenta que ha sido virtualmente imposible establecer definiciones de exposición que abarquen claramente todas las exposiciones existentes. Debido a las posibles diferencias en las interpretaciones personales de las categorías de exposición, el rango en la exposición se ha dividido en varias categorías y no sólo en dos o tres. Una diferencia de opinión con respecto a una categoría puede resultar en un "error" del **10%** si se utilizan varias categorías. En cambio el error sería del **25%** ó más si sólo se utilizaran tres.

### **C 3.2. FACTOR TÉRMICO, $C_t$**

Habitualmente es posible observar más nieve sobre las cubiertas frías que sobre las cálidas, aunque adelante se presentará una excepción. La condición térmica seleccionada de la Tabla 3 debe representar aquella que es probable que exista durante la vida útil de la estructura. Aunque es posible que una breve interrupción de la energía cause el enfriamiento temporario de una estructura calefaccionada, la probabilidad de que este evento sea simultáneo con un evento de carga pico de nieve es muy pequeña. En la categoría  $C_t = 1,0$  se admiten breves interrupciones de energía y pérdidas de calor. Aunque es posible que una estructura diseñada como **calefaccionada** se utilice posteriormente como **no calefaccionada**, la probabilidad de que ésto ocurra es baja. En consecuencia, no es necesario diseñar las estructuras calefaccionadas para este hecho improbable.

En algunos lugares es habitual que las viviendas no se utilicen durante el invierno. Aunque su **factor térmico** se podría incrementar a **1,2** en ese momento, su **factor de importancia** al estar desocupadas se reduciría a **0,8**. El resultado neto debe permitir disponer de la misma carga de diseño que para una vivienda ocupada, calefaccionada.

El calentamiento discontinuo de las estructuras puede causar derretimiento de la nieve sobre la cubierta con el subsiguiente recongelamiento en zonas más bajas. Los sistemas de desagüe de tales cubiertas se obstruyen con hielo, y se forman cargas extras asociadas con capas de hielo de varios centímetros de espesor en estas zonas bajas no

drenadas. Por esta razón se debe analizar la posibilidad de que suceda algo similar para cualquier estructura calefaccionada intermitentemente.

Similares congelamientos pueden ocurrir sobre cubiertas frías expuestas al agua de nieve derretida proveniente de cubiertas cálidas más altas. Los ventiladores fuera de servicio y otros equipos mecánicos instalados sobre las cubiertas también pueden generar agua de nieve derretida y congelamientos.

Los carámbanos (trozos de hielo largos y puntiagudos) y los diques de nieve, que son comunes en aquellos aleros fríos de cubiertas con pendiente, producen problemas relacionados con el goteo y con las cargas.

Los grandes diques de hielo que pueden impedir que la nieve se deslice fuera de las cubiertas, generalmente se producen por las pérdidas de calor interno de los edificios.

Los congelamientos asociados con derretimientos de la nieve debido al sol durante el día y al recongelamiento a lo largo de los aleros en la noche, son a menudo pequeños y transitorios. Aunque el congelamiento puede ocurrir sobre cubiertas frías o cálidas, las cubiertas bien aisladas y ventiladas, habitualmente no están sujetas al congelamiento serio en sus aleros.

Debido a que los **diques de hielo** pueden impedir las reducciones de carga por deslizamiento sobre algunas cubiertas cálidas,  $C_t \leq 1,0$ , la curva de “superficie lisa sin obstrucciones” de la Figura 2.a), sólo se debe aplicar a cubiertas no ventiladas con una resistencia térmica  $\geq 5,3 \text{ K m}^2/\text{W}$  (kelvin metro cuadrado por watt) y a cubiertas ventiladas con una resistencia térmica  $\geq 3,5 \text{ K m}^2/\text{W}$ . Para las cubiertas que están bien aisladas y ventiladas,  $C_t = 1,1$  en la Tabla 3 de este Reglamento.

Las cubiertas de tela, vidrio, y plástico, de aquellas **estructuras continuamente calefaccionadas**, rara vez están sujetas a mucha carga de nieve debido a que sus altas pérdidas de calor causan derretimiento y deslizamiento de la nieve. Para tales cubiertas especiales se debe consultar a fabricantes y diseñadores reconocidos.

Para **invernaderos** (ver la referencia 30), se recomienda la utilización de  $C_t = 0,83$  si están continuamente calefaccionados y  $C_t = 1,00$  para invernaderos no calefaccionados o intermitentemente calefaccionados. Se sugiere un valor de  $I = 1,0$  para **invernaderos con venta minorista** e  $I = 0,8$  para todos los demás.

Para calificar como continuamente calefaccionado, un invernadero de producción o de venta minorista debe tener una temperatura constante de  $10^\circ\text{C}$  ó mayor durante los meses de invierno. También debe tener un encargado de mantenimiento en servicio constante o un sistema adecuado de alarma térmica para dar aviso en el caso de falla del sistema de calefacción. Finalmente, el material de la cubierta del invernadero debe tener una resistencia térmica,  $R < 0,4 \text{ K m}^2/\text{W}$  (kelvin metro cuadrado por watt). El factor  $C_t$  para tales casos se debe adoptar igual a **0,85**.

Un **invernadero no calefaccionado o intermitentemente calefaccionado** es aquel que no cumple con los requisitos para un invernadero continuamente calefaccionado de simple o doble vidriado, debiendo ser diseñado de manera tal que los elementos de soporte estructural sean más fuertes que el vidriado. De esta forma, cualquier falla causada por grandes cargas de nieve será localizada y quedará circunscripta a la zona de vidriado. Así se previene el colapso progresivo del pórtico estructural. En aquellos lugares donde se

esperen acumulaciones de nieve por viento o por deslizamientos se deben utilizar valores de diseño más altos.

Sobre las cubiertas de tela calefaccionadas y sostenidas por aire se acumula poca nieve debido a su geometría y a su superficie lisa. Sin embargo, la nieve acumulada constituye una carga significativa para tales estructuras y se la debe tener en cuenta. Los métodos de diseño para cargas de nieve sobre estructuras sustentadas con aire se exponen en las referencias 31 y 32.

La consideración de condiciones térmicas y de exposición combinadas, genera factores "nivel de terreno a cubierta" que varían en un rango que va de **0,49** a **1,09**. Existen casos de cubiertas en las que las cargas exceden a aquellas determinadas utilizando este Reglamento, debido a que reciben poco calor desde abajo, (referencia 33). Los edificios frigoríficos, en los cuales el aire inmediatamente debajo de la cubierta se mantiene frío intencionalmente, pueden presentar un factor  $C_t$  mayor que **1,2**.

### **C 3.3. FACTOR DE IMPORTANCIA, $I$**

El factor de importancia,  $I$ , se ha incluido para tener en cuenta la necesidad de relacionar las cargas de diseño con las consecuencias de una falla. Las cubiertas de la mayoría de las estructuras que tienen destinos y funciones normales se diseñan con un factor de importancia de **1,0**, que corresponde al uso no modificado de la carga de nieve a nivel del terreno, estadísticamente determinada para el **2%** anual de probabilidad de ser excedida (intervalo de 50 años de recurrencia media).

Las situaciones de mayor y de menor riesgo se establecen en función de los factores de importancia para cargas de nieve que se especifican en la Tabla 4. Estos factores tienen una amplitud que va de **0,8** a **1,2**. El factor **0,8** es el factor de base para el valor promedio de diseño con una probabilidad anual del **4%** de ser excedido (intervalo de recurrencia media de alrededor de **25** años).

El factor **1,2** corresponde aproximadamente a aquél para un **1%** de probabilidad anual de ser excedido (intervalo de recurrencia media de **100** años).

### **C 3.4. VALORES MÍNIMOS DE $p_f$ PARA CUBIERTAS CON BAJA PENDIENTE**

Estos valores mínimos se deben considerar en ciertas situaciones que se desarrollan sobre cubiertas con baja pendiente. Estas consideraciones son particularmente importantes cuando  $p_g \leq 1 \text{ kN/m}^2$ . En estas áreas la ocurrencia de tormentas excepcionales y únicas pueden producir cargas para las cuales no son aplicables ni el factor de exposición básico de **0,7** ni los factores  $C_t$  y  $C_e$ .

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4.

### CARGAS DE NIEVE SOBRE CUBIERTAS CON PENDIENTE, $p_s$

La carga de nieve disminuye cuando las pendientes de las cubiertas se incrementan. Generalmente, se acumula menos nieve sobre una cubierta con pendiente debido a la acción del viento. También, desde estas cubiertas se puede desprender algo de la nieve que se acumula sobre ellas, por deslizamiento y por desagüe mejorado del agua de nieve derretida. La posibilidad de desprendimiento de la carga de nieve por deslizamiento, desde una cubierta con pendiente, está relacionada con la ausencia de obstrucciones no sólo sobre la cubierta, sino también debajo de ella, con la temperatura de la cubierta y con la calidad de lisura de su superficie.

Es difícil definir “**liso**” en términos cuantitativos. Por tal razón se presenta una lista de superficies de cubierta que califican como lisas y otras que no lo son. Las superficies de las cubiertas más comunes están incluidas en esa lista. La calidad **lisa** de otras superficies se determina por comparación con estas superficies. Algunas cubiertas de teja tienen protuberancias como parte de su estructura o una superficie rugosa que evita que la nieve se deslice. Sin embargo, la nieve se deslizará fuera de otras cubiertas de tejas de superficie lisa. En función de la decisión de si una superficie es lisa o no, se deben determinar las consecuencias del tratamiento que se aplica. Debido a que los valles obstruyen el deslizamiento de la nieve de las cubiertas de superficie lisa, no se deben utilizar las líneas de puntos de las Figuras 2.a), b) y c) para tales áreas de cubierta.

El calefaccionamiento discontinuo de un edificio puede reducir la posibilidad de desprendimiento de nieve por deslizamiento de una cubierta con pendiente, ya que el agua de nieve derretida generada durante los períodos de calefaccionamiento se puede recongelar sobre la superficie de la cubierta durante los períodos en que el edificio no está calefaccionado, adhiriéndose a ella.

Todas estas consideraciones se han tenido en cuenta en la definición de los factores de reducción por pendiente presentados en la Figura 2, y respaldados por las referencias bibliográficas 33 a 36. Las disposiciones de resistencia térmica se han incorporado a la curva de “**superficies lisas sin obstrucciones**”, en la Figura 2.a), con el fin de evitar su utilización para cubiertas sobre las que se forman con frecuencia diques de hielo, ya que éstos evitan que la nieve se deslice. Matemáticamente, la información de la Figura 2 se puede presentar de la siguiente manera:

### 1. Cubiertas cálidas ( $C_t \leq 1,0$ ):

a. Superficies lisas sin obstrucción:

- para cubierta no ventilada  $R \geq 5,3 \text{ K m}^2/\text{W}$  (kelvin metro cuadrado por watt)
- para cubierta ventilada  $R \geq 3,5 \text{ K m}^2/\text{W}$  (kelvin metro cuadrado por watt)

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 5^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 5^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 5^\circ}{65^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

b. Todas las otras superficies:

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 30^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 30^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 30^\circ}{40^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

### 2. Cubiertas frías ( $C_t = 1,1$ )

a. Superficies lisas sin obstrucciones:

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 10^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 10^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 10^\circ}{60^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

b. Todas las otras superficies:

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 37,5^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 37,5^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 37,5^\circ}{32,5^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

### 3. Cubiertas frías ( $C_t = 1,2$ ):

a. Superficies lisas sin obstrucciones:

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 15^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 15^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 15^\circ}{55^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

b. Todas las otras superficies:

$$\text{pendiente } 0^\circ \text{ a } 45^\circ \quad C_s = 1,0$$

$$\text{pendiente } > 45^\circ \text{ a } 70^\circ \quad C_s = 1,0 - \left( \frac{\text{pendiente} - 45^\circ}{25^\circ} \right)$$

$$\text{pendiente } > 70^\circ \quad C_s = 0$$

Si el alero de una cubierta con pendiente se halla cerca del nivel del terreno o de otra cubierta con menor pendiente, la nieve puede no deslizarse completamente fuera de la cubierta con pendiente. De esta forma se origina la eliminación de cargas de nieve en las partes superiores de la cubierta y su concentración en las partes inferiores. Las cubiertas empinadas con pódico en **A** que prácticamente llegan a nivel del terreno están sujetas a tales condiciones. Para estas cubiertas se deben considerar tanto las cargas verticales como las laterales inducidas por dicha nieve.

#### **C 4.3. FACTOR DE PENDIENTE PARA CUBIERTAS CURVAS**

Estas disposiciones permiten que la carga disminuya a lo largo de la cubierta mientras la pendiente se incrementa.

#### **C 4.4. FACTOR DE PENDIENTE DE CUBIERTA PARA PLACAS CON PLEGADO MÚLTIPLE, DIENTES DE SIERRA Y BÓVEDAS CILÍNDRICAS**

En la carga de nieve, la reducción debida a la pendiente no se debe realizar dado que estos tipos de cubierta concentran nieve extra en sus valles por el arrastre del viento y por el deslizamiento y escurrimiento de la nieve,

#### **C 4.5. DIQUES DE HIELO Y CARÁMBANOS A LO LARGO DE LOS ALEROS**

Las cargas pesadas debidas al hielo que se forma a lo largo de los aleros se deben considerar sólo en aquellas estructuras donde se considere probable que se produzcan tales cargas. Tampoco se considera necesario analizar la estructura completa para estas cargas, sino sólo para los aleros.



## **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5.**

### **CARGAS PARCIALES**

En muchas situaciones las tensiones en los elementos de soporte de una estructura, se reducirán debido a una reducción en la carga de nieve sobre una parte de la cubierta, originada por la limpieza debida al arrastre del viento, por el derretimiento o por operaciones de remoción de nieve. Sin embargo, en algunos casos una reducción de la carga de nieve en un área, inducirá tensiones mayores en la estructura de la cubierta que las que ocurren cuando toda la cubierta está cargada. Las viguetas en voladizo de una cubierta son un buen ejemplo, dado que remover la mitad de la carga de nieve del tramo en voladizo incrementará la tensión y la deformación por flexión del tramo continuo adyacente. En otras situaciones se pueden generar tensiones reversibles adversas.

En este Reglamento se han incorporado disposiciones simplificadas para vigas continuas, con el fin de disponer de estados de carga parciales específicos para ese sistema estructural de utilización habitual.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6.

### CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS

Las cargas de nieve no balanceadas se pueden generar sobre las cubiertas con pendiente debido a la luz del sol y al viento. El viento tiende a reducir las cargas de nieve sobre las partes expuestas a barlovento y a incrementarlas sobre las partes ubicadas a sotavento. Como no es posible definir la dirección del viento con seguridad, se deben considerar en general los vientos provenientes de todas las direcciones cuando se definan las cargas no balanceadas sobre las cubiertas.

#### C 6.1. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS A DOS Y CUATRO AGUAS

La **carga de nieve uniforme no balanceada** sobre el lado a sotavento es  $1,5 p_s / C_e$  para cubiertas con distancias pequeñas entre alero y cumbre. Para cubiertas moderadas a grandes, la carga de nieve no balanceada sobre el lado a sotavento varía entre  $1,5 p_s / C_e$  y  $1,8 p_s / C_e$  en función de  $\beta$ .

El parámetro  $\beta$  de nieve acumulada por viento sobre una cubierta a dos aguas, es proporcional al porcentaje de carga de nieve a nivel del terreno que sería acumulada por el viento cruzando la línea de cumbre.

La **carga de nieve de diseño** sobre el lado a barlovento para el caso no balanceado,  $0,3 p_s$ , se sustenta en casos y datos históricos expuestos en las referencias 21 y 56. El límite inferior de  $\theta = [(21/W) + 0,5]$ , con  $W$  en m, pretende excluir las cubiertas de baja pendiente, tales como las cubiertas de membrana, sobre las que no se han observado cargas no balanceadas significativas, (ver la referencia 57).

Las disposiciones de este Reglamento y sus Comentarios corresponden al caso en que la cubierta a dos o cuatro aguas es **simétrica en planta** con respecto a la línea de cumbre, específicamente son cubiertas para las cuales la distancia desde el alero a la línea de cumbre,  $W$ , es la misma para ambos lados. Para cubiertas asimétricas, la carga no balanceada correspondiente al lado con un valor de  $W$  más pequeño, en general resulta mayor, (ver la referencia 56).

#### C 6.2. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE CUBIERTAS CURVAS

El coeficiente  $C_s$  se basa en la pendiente real y no en una pendiente equivalente. Estas disposiciones **no se deben aplicar a cubiertas con su concavidad hacia arriba**. Para tales cubiertas, ver los Comentarios al Capítulo 13.

### **C 6.3. CARGAS DE NIEVE NO BALANCEADAS SOBRE PLACAS CON PLEGADO MÚLTIPLE, DIENTES DE SIERRA Y BÓVEDAS CILÍNDRICAS**

En este Reglamento se ha establecido una pendiente mínima de **1,8°** para evitar la necesidad de determinar las cargas no balanceadas para la mayoría de las cubiertas de membrana que desaguen internamente o, que tienen pendientes hacia desagües internos. Los casos estudiados indican que se pueden generar **cargas no balanceadas significativas** cuando la pendiente de cubiertas múltiples a dos aguas alcanza un valor mínimo de **2,4°**.

La carga de nieve no balanceada en el valle de una cubierta se considera igual a  **$2 p_f / C_e$**  con el fin de generar una carga total no balanceada que no supere, en la mayoría de las situaciones, el valor de la carga de nieve a nivel del terreno, uniformemente distribuida.

Las cubiertas en diente de sierra y otras cubiertas con perfiles “sube y baja” y pendientes significativas tienden a ser vulnerables en zonas con fuertes caídas de nieve por las siguientes razones:

1. Acumulan grandes cargas de nieve y por lo tanto son caras para construir.
2. Las ventanas y dispositivos de ventilación en las caras con pendiente empinada de tales cubiertas pueden ser bloqueadas con nieve arrastrada por el viento y volverse inútiles.
3. La filtración de agua de nieve derretida a través de fisuras en las caras con pendiente empinada es muy probable que suceda cuando se trata de tabiques, ya que se puede acumular lodo en los valles durante el tiempo cálido, situación que puede promover un deterioro progresivo de la estructura.
4. La presión lateral de la nieve acumulada por el viento en contra de las ventanas en altura puede romper los vidrios.
5. La disposición con respecto a que la altura de la nieve en el valle no supere a la altura de nieve en la cumbre puede limitar la carga no balanceada a valores menores que  **$2 p_f / C_e$** .

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7.

### NIEVE ACUMULADA POR ARRASTRE DEL VIENTO SOBRE CUBIERTAS MÁS BAJAS (SOMBRA AERODINÁMICA)

Cuando durante un invierno particularmente severo suceden fallas en cadena debidas a cargas de nieve, hay una tendencia natural de las partes involucradas a incrementar para todos los casos las cargas de nieve en el diseño. Esta es generalmente una forma cara y técnicamente ineficiente de tratar de solucionar tales problemas, ya que la mayoría de las fallas asociadas con cargas de nieve sobre cubiertas no son causadas por sobrecargas moderadas sobre cada metro cuadrado de cubierta sino por sobrecargas localizadas significativas, originadas por la nieve acumulada por arrastre del viento.

**En el diseño de cubiertas es extremadamente importante considerar las cargas localizadas por la nieve acumulada por arrastre del viento.** Esta carga se acumulará sobre las cubiertas (aún sobre cubiertas con pendiente) protegidas del viento por cubiertas más altas o por salientes del terreno. Los parapetos tienen el mismo efecto. La cubierta afectada puede estar influenciada por una parte más alta de la misma estructura, por otra estructura o por una característica del terreno cercano, siempre que la separación sea  $\leq 6$  m. Cuando se construye una nueva estructura dentro de los 6 m de otra estructura existente, las posibilidades de acumulación de nieve por arrastre del viento se deben analizar también en la estructura existente. La nieve que se acumula debido al arrastre del viento puede venir de la cubierta sobre la que se acumula, de cubiertas más altas o más bajas y en ocasiones, de la que se encuentra a nivel del terreno.

Las disposiciones para cargas de nieve acumulada por arrastre del viento a sotavento están basadas en estudios de nieve arrastrada sobre cubiertas, las que se describen en las referencias 37 a 40. El tamaño de la acumulación está relacionado con la cantidad de nieve que puede ser arrastrada, determinada en función de la longitud de la cubierta a barlovento y de la carga de nieve a nivel del terreno. Las cargas de nieve acumuladas por arrastre del viento se deben considerar cuando las cargas de nieve a nivel del terreno son  $\geq 0,24$  kN/m<sup>2</sup>. Estudios recientes muestran que en regiones con bajas cargas de nieve a nivel del terreno, una sola tormenta acompañada por vientos fuertes puede causar acumulaciones por arrastre del viento de 0,9 a 1,2 m de altura.

En este Reglamento se incluye el ancho de acumulación,  $w$ , cuando la altura de la acumulación por arrastre,  $h_d$ , de la Figura 9, excede la altura libre  $h_c$ . En esta situación el ancho de la acumulación se debe adoptar como  $4 h_d^2/h_c$  con un valor máximo de  $8h_c$ . Esta relación del ancho de la acumulación está basada en igualar el área de la sección transversal de esta acumulación,  $1/2 h_c w$ , con el área de la sección transversal de una acumulación triangular en la cual la altura de la acumulación no esté limitada por  $h_c$  (p.e.,  $1/2 h_d 4h_d$ ).

El límite superior del ancho de la acumulación está basado en estudios descriptos en las referencias 41 y 42, que sugieren que una acumulación “completa” tiene una relación altura - largo de alrededor de **1:6,5**, y en los estudios de los casos descriptos en la referencia 41 donde se observaron acumulaciones por arrastre del viento con una relación altura - largo mayor que **1:10**.

La relación de altura de la acumulación, especificada en la Figura 9 se basa en la nieve arrastrada por el viento fuera de una cubierta alta ubicada a barlovento de la cubierta más baja. El cambio de altura donde se forma la acumulación se llama “**escalón a sotavento**”. También se pueden formar acumulaciones en “**escalones a barlovento**”. Un ejemplo es la acumulación que se forma en el borde a sotavento de una cubierta que termina en una estructura más alta. En la Figura 7 de este Reglamento se indica el “**escalón a barlovento**” y el “**escalón a sotavento**” debidos a la acumulación de nieve por arrastre del viento

Para situaciones que tienen la misma cantidad de nieve disponible (cubierta superior e inferior de la misma longitud), las acumulaciones que se forman en los escalones a sotavento son más grandes que aquellas que se forman en los escalones a barlovento. En la referencia 45, se informa que a partir de los resultados obtenidos de la experiencia de casos internacionales recientes, combinados con estudios previos, se ha podido establecer que la altura de nieve acumulada por arrastre del viento a barlovento está dada por el valor  **$3/4 h_d$**  en la Figura 9, utilizando la longitud de la cubierta más baja para  $l_u$ .

Por lo tanto, dependiendo de la dirección del viento, cualquier cambio en la altura entre cubiertas puede ser **escalón a barlovento o a sotavento**, de manera tal que la altura de una acumulación de nieve debida al arrastre del viento se debe determinar para cada dirección del viento como se indica en el Ejemplo 3, y se debe utilizar la mayor de las dos alturas para medir la acumulación de diseño.

Las disposiciones de carga para las acumulaciones de nieve debidas al arrastre del viento cubren la mayoría, pero no todas las situaciones. Las referencias 41 y 46 documentan una acumulación mayor que la esperada basándose en la longitud de la cubierta superior. La acumulación más grande fue causada cuando la nieve de una cubierta un poco más baja, **ubicada a barlovento de la más alta**, formó una acumulación entre aquellas dos cubiertas, permitiendo que la nieve de la **cubierta más baja a barlovento**, fuera llevada sobre la cubierta más alta y de allí hasta la acumulación sobre su lado a **sotavento**. Este Reglamento permite utilizar la suma de las longitudes de ambas cubiertas para determinar el tamaño de la acumulación a sotavento.

En otra situación, que se describe en la referencia 47, se creó una acumulación de nieve arrastrada en forma de una larga “espiga” al final de una larga claraboya, con la dirección del viento formando un ángulo de **30°** con el eje longitudinal de la claraboya. Dicha claraboya actuó como guía o pantalla deflectora que concentró la nieve arrastrada. Se acumuló así una gran cantidad de nieve arrastrada por viento a sotavento de la claraboya. De este caso se obtuvo réplica en el túnel de viento.

Tal como se ilustra en la Figura 8 de este Reglamento, la altura libre,  $h_c$ , se debe determinar en base a la suposición que la nieve de la cubierta más alta es totalmente barrida por el viento en la cercanía de la acumulación. Ésta es una suposición razonable cuando la cubierta más alta es casi plana. Sin embargo, las cubiertas con pendiente, a menudo, acumulan nieve sobre los aleros, como se ilustra en las Figuras 3 y 5 de este Reglamento. Para tales cubiertas es apropiado suponer que la nieve en el borde de la cubierta superior aumenta efectivamente la diferencia de alturas entre cubiertas

adyacentes. Cuando se utiliza la mitad de la profundidad de carga de nieve no balanceada para la determinación de  $h_c$ , se obtienen estimaciones más realistas de las cargas de nieve acumulada por arrastre del viento.

Los ensayos en túneles de viento, descritos en las referencias 48 y 49, y en canales (referencia 44), han demostrado ser muy valiosos en la determinación de valores de nieve arrastrada por el viento y de cargas debidas a su acumulación. Para cubiertas con forma o configuración inusual, pueden ser necesarios ensayos en túnel de viento o en canal de agua, para ayudar a definir las cargas por acumulación debida al arrastre del viento.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 8.

### SALIENTES DE CUBIERTA

Las acumulaciones de nieve debidas tanto al viento alrededor de pent-houses o casas en azoteas, como a obstrucciones en las cubiertas y paredes parapeto se consideran también del tipo **“escalón a barlovento”** ya que la longitud de la cubierta más alta es pequeña o no existe. Los paneles solares, equipos mecánicos, paredes parapeto, y casas en azoteas son ejemplos de salientes de cubiertas que pueden causar acumulaciones a barlovento en la cubierta alrededor de ellos.

Las disposiciones para cargas por acumulación de nieve debida al viento, especificadas en los Capítulos 7 y 8, contemplan adecuadamente la mayoría de estas situaciones, pero los colectores solares de placa plana merecen atención adicional. Las cubiertas equipadas con varias filas de éstos están sujetas a cargas adicionales de nieve.

Antes de que se instalaran los colectores, estas cubiertas pudieron haber soportado cargas de nieve mínimas, especialmente si eran barridas por el viento. Ya que una cubierta con colectores es apta para estar ‘protegida’ de alguna manera por estos colectores, es apropiado suponer que la cubierta está parcialmente expuesta y calcular una carga uniforme de nieve para toda el área como si los colectores no existieran.

Además, la nieve extra que puede caer sobre los colectores y luego deslizarse sobre la cubierta se debe computar utilizando la curva para **“cubiertas frías – todas las otras superficies”** dada en la Figura 2.b) que forma parte del Ejemplo 1. Este valor se debe aplicar como una carga uniforme sobre la cubierta, en la base de cada colector, sobre un área de **0,6 m** de ancho en toda la longitud del colector.

La carga uniforme combinada con la carga en la base de cada colector, probablemente constituya una carga de diseño razonable para tales situaciones, excepto en áreas muy ventosas donde se puede esperar una amplia acumulación de nieve por arrastre del viento entre los colectores. Si se elevan los colectores un **1 m** ó más, por encima de la cubierta, sobre un sistema abierto de soportes estructurales, el potencial para la acumulación de nieve debido a viento disminuirá significativamente.

Finalmente, los colectores en sí, se deben diseñar para que soporten una carga determinada utilizando la curva de **“superficies lisas sin obstrucciones”** de la Figura 2.a), que forma parte del Ejemplo de Aplicación. Esta última carga no se debe utilizar en el diseño de la cubierta en sí, debido a que ya se consideró la carga más pesada de la nieve que cae por deslizamiento de los colectores. La influencia de los colectores solares sobre la acumulación de nieve se estudia en las referencias 50 y 51.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 9.

### NIEVE CAÍDA POR DESLIZAMIENTO

Todas aquellas situaciones que permiten que la nieve se deslice hacia cubiertas más bajas se deben evitar (referencia 52). Cuando no sea posible, será necesario considerar la carga extra de nieve caída por deslizamiento. Se ha observado que las cubiertas con poca pendiente se desprenden de las cargas de nieve por deslizamiento. En consecuencia, es prudente suponer que cualquier cubierta más alta, con pendiente hacia un alero, sin obstrucciones, es una fuente potencial de nieve que cae por deslizamiento.

El lugar final de destino de la nieve que se desliza hacia afuera de una cubierta alta sobre otra más baja, dependerá del tamaño, posición y orientación de cada cubierta, (referencia 35). La distribución de las cargas producidas por aquella nieve que cae por deslizamiento podría variar desde una carga uniforme de **1,5 m** de ancho, si existe un desplazamiento vertical significativo entre las dos cubiertas, hasta **6 m** de ancho de carga uniforme, cuando una cubierta superior de poca pendiente desliza su carga de nieve sobre una segunda cubierta que es apenas **1 m** más baja o cuando la nieve acumulada por arrastre del viento sobre la cubierta más baja genere una superficie con pendiente que promueva el movimiento lateral de la nieve caída por deslizamiento.

En algunas instancias se puede esperar que una parte de la nieve se deslice totalmente fuera de la cubierta más baja. No obstante, es prudente diseñar la cubierta más baja para una cantidad substancial de carga de nieve que caiga por deslizamiento con el fin de prever cualquier efecto dinámico que pueda estar asociado con ella.

Sobre algunas cubiertas es necesario colocar los guarda-nieve, con el fin de evitar que éstas se dañen y para eliminar los peligros asociados con la nieve que cae por deslizamiento, (ver la referencia 53). Cuando se colocan guarda-nieve en una cubierta con pendiente, se puede esperar un incremento de las cargas, resultando necesario reforzar una cubierta antes de agregarle un guarda-nieve.

Cuando se diseñe una cubierta que probablemente los necesite en el futuro, se considera apropiado utilizar las curvas para "**todas las otras superficies**" de la Figura 2 y no las curvas para "superficies lisas sin obstrucciones".



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 10.

### CARGA DE LLUVIA SOBRE NIEVE

Las mediciones de la carga de nieve a nivel del terreno en las que se basa este Reglamento, comprenden los efectos de carga de una lluvia ligera sobre la nieve. Sin embargo, ya que las lluvias fuertes se filtran hacia abajo a través de los bloques de nieve y pueden drenar, no se deben incluir en los valores medidos.

Cuando el coeficiente  $p_g$  resulta  $> 1 \text{ kN/m}^2$ , se supone que el efecto total de la lluvia sobre la nieve se ha medido y no es necesaria una sobrecarga separada. La carga temporaria sobre la cubierta a la que contribuye una lluvia fuerte puede ser significativa. Su magnitud dependerá de la duración e intensidad de la tormenta de lluvia de diseño, las características del desagüe de nieve sobre la cubierta, la geometría de la cubierta, y el tipo de desagüe instalado. Las cargas asociadas con lluvia sobre nieve se consideran en las referencias 54, 55 y 58.

El agua de lluvia sobre nieve tiende a permanecer mucho más tiempo sobre cubiertas relativamente planas que sobre cubiertas con pendiente. Por lo tanto, la pendiente es muy beneficiosa, ya que disminuye las oportunidades de bloqueo de desagües y de congelamiento del agua sobre la nieve.

Para una cubierta con pendiente de  $1,20^\circ$ , donde  $p_g = 1 \text{ kN/m}^2$ ,  $p_f = 0,9 \text{ kN/m}^2$ , y el valor mínimo de  $p_f$  es  $1 \text{ kN/m}^2$ , se debe agregar la sobrecarga de lluvia sobre nieve de  $0,2 \text{ kN/m}^2$  a los  $0,9 \text{ kN/m}^2$  de carga de nieve sobre la cubierta plana, con el fin de generar una carga de diseño de  $1,10 \text{ kN/m}^2$ . Esta carga de diseño aumentada por la carga de lluvia sobre nieve, corresponde a un caso de carga uniforme o balanceada y por lo tanto no es necesario utilizarla en combinación con cargas parciales, no balanceadas, caídas por deslizamiento o acumuladas por arrastre del viento.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 11.

### INESTABILIDAD POR ACUMULACIÓN DE AGUA

Cuando en la cubierta no exista una pendiente adecuada para el desagüe, o cuando los desagües estén bloqueados por el hielo, el agua producida por nieve derretida y por la lluvia, pueden generar charcos en las áreas bajas. Las estructuras calefaccionadas de manera intermitente en regiones muy frías, son particularmente sensibles a los bloqueos de los desagües por hielo.

Una cubierta diseñada sin pendiente, o con pendiente de sólo **0,6°** hacia los desagües interiores, contendrá, probablemente, durante su construcción lugares bajos, lejos de los desagües. Si a esta cubierta se le incorpora una carga pesada de nieve, se estará aumentando la probabilidad de que existan lugares bajos que no desagoten. Cuando el agua de lluvia o de nieve derretida fluye a tales áreas bajas, estas áreas tienden a flexionarse cada vez más, permitiendo la formación de charcos más profundos. Si la estructura no es suficientemente rígida para resistir esta progresión, el resultado puede ser una falla por exceso de carga localizada. Este mecanismo ha sido responsable de varias fallas de cubierta bajo las cargas combinadas de lluvia y nieve.

Es muy importante considerar las deformaciones por flexión de la cubierta, causadas por las cargas de nieve, cuando se determine la probabilidad de inestabilidad por acumulación de agua debido a lluvia sobre nieve o a agua de nieve derretida.

Las cubiertas con desagües internos deben tener una pendiente, como mínimo, de **1,20°** para proporcionar un desagüe eficiente y minimizar la posibilidad de acumulación de agua. Las pendientes de **1,20°** ó mayores también son efectivas para reducir las cargas pico generadas en primavera por las lluvias fuertes sobre la nieve. Las significativas mejoras que se vienen desarrollando en el comportamiento de membranas a prueba de agua, provistas con pendiente para desagüe, brindan un mayor incentivo para construir desagües eficientes en las cubiertas. Las cargas de lluvia e inestabilidad por acumulación de agua se especifican en el Anexo I del Reglamento CIRSOC 101-2005.



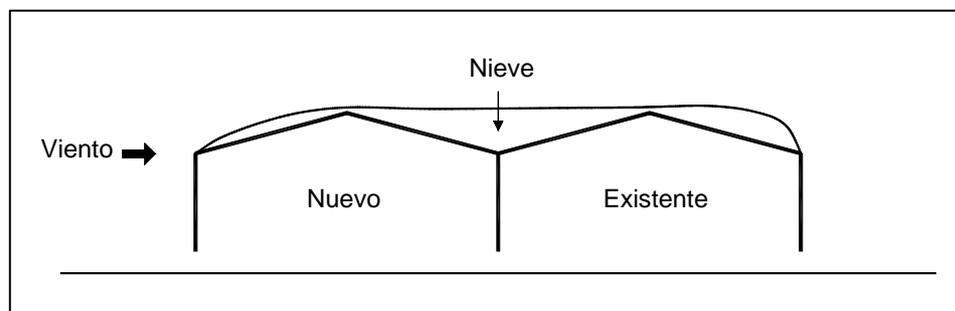
## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 12.

### CUBIERTAS EXISTENTES

Numerosas cubiertas existentes han fallado debido a los incrementos de cargas de nieve causadas por la incorporación de partes nuevas de la estructura o por la presencia de edificios nuevos contiguos.

La incorporación de una cubierta a dos aguas a lo largo de otra cubierta a dos aguas existente, como se indica en la Figura C.1, explica las razones por las cuales han fallado muchos edificios metálicos. La transformación de una cubierta simple a dos aguas en una cubierta constituida por placas con plegado múltiple, incrementa las cargas sobre la cubierta original, como es previsible, de acuerdo con el artículo 6.3. Las cubiertas originales se deben reforzar para absorber estas cargas extras.

Si los aleros de la cubierta nueva que se muestra en la Figura C 1 fueran más altos que los aleros de la cubierta existente, el factor de exposición  $C_e$ , para la cubierta original, se podría incrementar, con lo cual se incrementarían las cargas de nieve sobre él. También se deben agregar las cargas de nieve acumulada por arrastre del viento y las caídas por deslizamiento.



**Figura C 1. Cuando una nueva cubierta a dos aguas se agrega a lo largo de otra ya existente, se crea un valle en el cual la nieve se acumulará debido al viento.**



## **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 13.**

### **OTRAS CUBIERTAS Y LUGARES**

Para definir las cargas de nieve de diseño para otras geometrías de cubiertas y ubicaciones complicadas se han utilizado con éxito estudios de modelos en túneles de viento, ensayos empleando fluidos distintos que el aire, por ejemplo canalones de agua, y otros métodos computacionales y experimentales especiales, (ver las referencias 44, 48, 49). Para que dichos métodos sean confiables, deben reproducir las características medias y turbulentas del viento y la forma en la cual las partículas de nieve se depositarán sobre las cubiertas y se redistribuirán luego por la acción del viento.

La confiabilidad se debe demostrar a través de comparaciones con situaciones en las cuales se dispone de experiencia en escala natural.

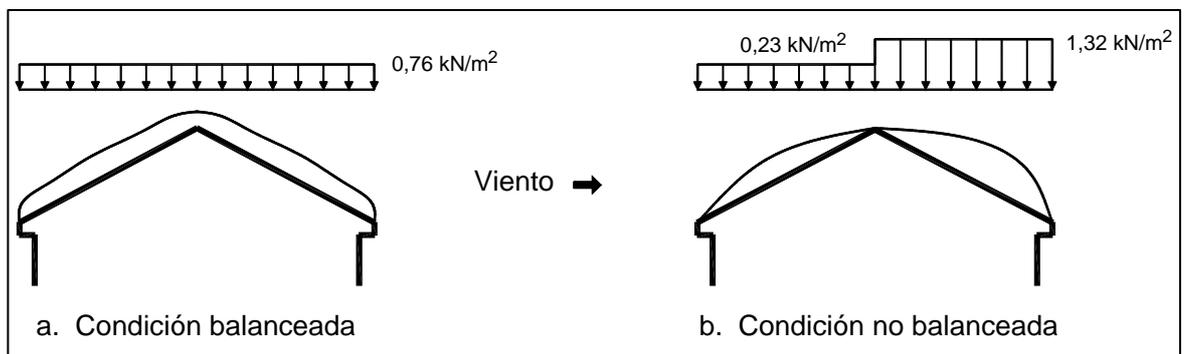


## EJEMPLOS

Los tres ejemplos siguientes ilustran el método usado para determinar las cargas de nieve de diseño para la mayoría de las situaciones que se presentan en este Reglamento.

### Ejemplo N° 1

Determinar las cargas de nieve de diseño balanceadas y no balanceadas para un complejo de departamentos en El Calafate. Cada unidad tiene una cubierta a dos aguas no ventilada con una pendiente de  $34^\circ$ , revestida con tejas. La longitud del edificio es de **30 m** y la distancia desde el borde del alero a la cumbrera es de **9 m**. Se plantarán árboles entre los edificios.



**Figura C 2. Cargas de nieve de diseño para el Ejemplo 1.**

#### 1.1. Carga de nieve para cubierta plana:

$$p_f = 0,7 C_e C_t I p_g$$

donde

$$p_g = 1,2 \text{ kN/m}^2 \text{ (de la Tabla 1.14);}$$

$$C_e = 1,0 \text{ (de la Tabla 2 para Categoría de Terreno C y cubierta parcialmente expuesta);}$$

$$C_t = 1,0 \text{ (de la Tabla 3);}$$

$$I = 1,0 \text{ (de la Tabla 4),}$$

Por lo tanto:

$$p_f = (0,7)(1,0)(1,0)(1,0)(1,2) = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

Al ser la pendiente de cubierta mayor que  $[(21/9) + 0,5] = 2,8^\circ$  la carga mínima para cubierta plana no se aplica, (ver el Capítulo 3).

## 1.2. Carga de nieve para cubierta con pendiente

$$p_s = C_s p_f$$

donde

$$C_s = 0,91 \text{ (de la línea llena, de la Figura 2.a).}$$

Por lo tanto:

$$p_s = 0,91(0,84) = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

## 1.3. Carga de nieve no balanceada

Por tratarse de una pendiente de cubierta mayor que  $[(21/W) + 0,5] = 2,8^\circ$  se deben considerar las cargas de nieve no balanceadas.

Para:

$$p_g = 1,2 \text{ kN/m}^2$$
$$\beta = 1,5 - 0,5 p_g = 0,9 \text{ de la expresión (3)}$$

la carga a barlovento es  $0,3 p_s = 0,3 (0,76) = 0,23 \text{ kN/m}^2$  de la Figura 5.

la carga no balanceada a sotavento es  $1,2 (1 + \beta/2) p_s / C_e = 1,2 (1 + 0,45) 0,76/1 = 1,32 \text{ kN/m}^2$

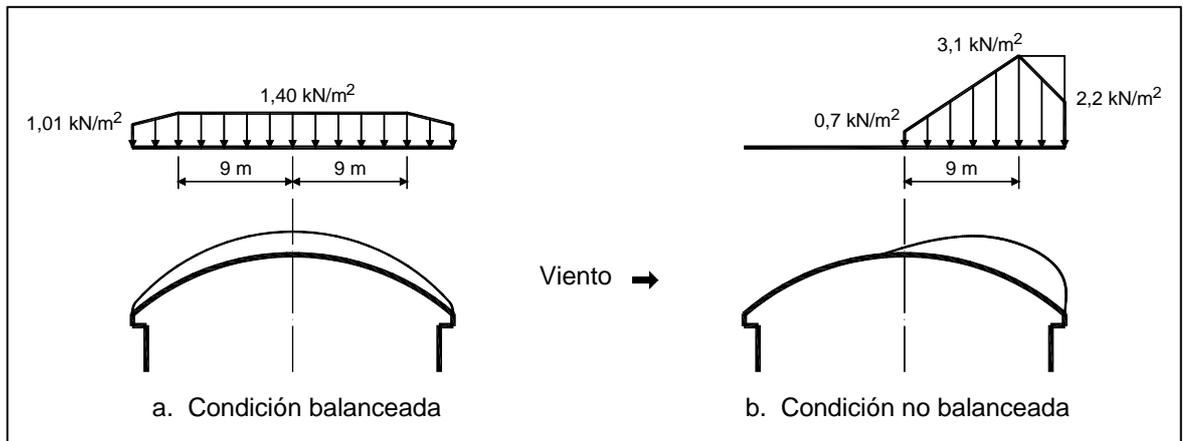
## 1.4. Sobrecarga de lluvia sobre nieve

No es necesario considerar una carga de lluvia sobre nieve, ya que la pendiente es mayor que  $2,4^\circ$  (ver el Capítulo 10).

En la Figura C 2. se presentan ambas condiciones de carga.

## Ejemplo N° 2

Determinar la carga de nieve sobre una cubierta en bóveda de un teatro con espacio para 450 butacas, que se ubicará en Bariloche. El edificio es la estructura más alta en un complejo de recreación y compras rodeado por playa de estacionamiento. Grandes árboles de hojas caducas están ubicados en un área cerca de la entrada. El edificio tiene **25 m** de ancho y una cubierta en arco circular de hormigón estructural que se eleva **4,6 m**, revestida con aislación y hormigón proyectado en capas sucesivas. El sistema de cubierta no ventilado tiene una resistencia térmica **R = 3,5 K m<sup>2</sup>/W** (Kelvin metro cuadrado por watt). Se considera que la estructura estará expuesta al viento durante su vida útil.



**Figura C 3. Cargas de nieve de diseño para el Ejemplo 2.**

### 2.1. Carga de nieve para cubierta plana

$$p_f = 0,7 C_e C_t I p_g$$

donde:

$$p_g = 2,0 \text{ kN/m}^2 \text{ (de la Tabla 1-10)}$$

$$C_e = 0,9 \text{ (de Tabla 2 para Terreno Categoría C y cubierta totalmente expuesta)}$$

$$C_t = 1,0 \text{ (de Tabla 3)}$$

$$I = 1,1 \text{ (de Tabla 4).}$$

Por lo tanto:

$$p_f = (0,7)(0,9)(1,0)(1,1)(2,0) = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

La tangente del ángulo vertical desde los aleros a la cumbrera =  $4,6/12,5 = 0,37$ .  
Ángulo =  $21^\circ$

Debido a que el ángulo vertical excede los  $10^\circ$ , no se aplican los valores mínimos de  $p_f$ . Se debe usar  $p_f = 1,4 \text{ kN/m}^2$ , (ver el artículo 3.4.).

## 2.2. Carga de nieve para cubierta con pendiente

$$p_s = C_s p_f$$

De la Figura 2.a),  $C_s = 1,0$  hasta que la pendiente sea  $> 30^\circ$ , que por geometría es a **9,1 m** de la línea central.

En esta área  $p_s = 1,0 (1,4) = 1,4 \text{ kN/m}^2$ .

En los aleros, donde la pendiente es por geometría  $41^\circ$ ,  $C_s = 0,72$

$$p_s = 0,72 (1,4) = 1,01 \text{ kN/m}^2.$$

En los aleros, la pendiente es de  $41^\circ$ , por lo tanto se aplica el Caso II de carga.

## 2.3. Carga de nieve no balanceada

El ángulo vertical de los aleros hasta la cumbrera es mayor que  $10^\circ$  y menor que  $60^\circ$ , por lo que se deben considerar las cargas de nieve no balanceadas.

Carga no balanceada en la cumbrera =  $0,5 p_f = 0,5 (1,4) = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Carga no balanceada en el punto correspondiente a  $30^\circ = 2 p_f C_s / C_e = 2 (1,4) (1,0/0,9) = 3,1 \text{ kN/m}^2$

Carga no balanceada en los aleros =  $2 (1,4) (0,72/0,9) = 2,2 \text{ kN/m}^2$

## 2.4. Sobrecarga de lluvia sobre nieve

No es necesario considerar una carga de lluvia sobre la nieve, ya que la pendiente es mayor que  $2,4^\circ$  (ver el Capítulo 10).

En la Figura C 3. se presentan ambas condiciones de carga.

### Ejemplo N° 3

Determinar las cargas de nieve de diseño para dos cubiertas planas superior e inferior de un edificio localizado en Ushuaia, donde  $p_g = 1 \text{ kN/m}^2$ . La diferencia de altura entre cubiertas es de **3 m**. La parte más alta no ventilada de **30,5 m** de ancho y **30,5 m** de largo está calefaccionada y la parte más baja de **52 m** de ancho y **30,5 m** de largo es un área de depósito no calefaccionada. El edificio está en campo abierto y plano, sin árboles u otras estructuras que ofrezcan protección.

#### 3.1. Cubierta superior:

$$p_f = 0,7 C_e C_t I p_g$$

donde

$$\begin{aligned} p_g &= 1,0 \text{ kN/m}^2 \\ C_e &= 0,9 \text{ (de la Tabla 2);} \\ C_t &= 1,0 \text{ (de la Tabla 3);} \\ I &= 1,0 \text{ (de la Tabla 4).} \end{aligned}$$

Por lo tanto

$$p_f = 0,7 (0,9)(1,0)(1,0)(1,0) = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

Por ser  $p_g = 1,0 \text{ kN/m}^2$  e  $I = 1,0$ ,

el valor mínimo de  $p_f = I p_g = 1,0 \text{ kN/m}^2$ ; por lo tanto es el valor que controla, (ver el Capítulo 3).

#### 3.2. Cubierta inferior:

$$p_f = 0,7 C_e C_t I p_g$$

donde

$$\begin{aligned} p_g &= 1,0 \text{ kN/m}^2 \\ C_e &= 1,0 \text{ (de la Tabla 2)} \\ C_t &= 1,2 \text{ (de la Tabla 3)} \\ I &= 0,8 \text{ (de la Tabla 4)} \end{aligned}$$

Por lo tanto

$$p_f = 0,7 (1,0)(1,2)(0,8)(1,0) = 0,67 \text{ kN/m}^2$$

Por ser  $p_g = 1,0 \text{ kN/m}^2$ , e  $I = 0,8$ ,

el valor mínimo de  $p_f = 1,0 (0,8) = 0,8 \text{ kN/m}^2$ , por lo tanto es el valor que controla, (ver el Capítulo 3).

Se debe utilizar  $p_f = 0,8 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.3. Determinación de la nieve acumulada por arrastre del viento

$$\gamma = 0,426 p_g + 2,2 = 0,426 (1,0) + 2,2 = 2,63 \text{ kN/m}^3$$

$$h_b = p_f / \gamma = 0,8 / 2,63 = 0,3 \text{ m}$$

$$h_c = 3,0 - 0,3 = 2,7 \text{ m}$$

$$h_c / h_b = 2,7 / 0,3 = 9,0$$

Por ser  $h_c / h_b \geq 0,2$ , se deben considerar las cargas de nieve acumuladas por arrastre del viento, (ver el artículo 7.1.).

$$h_d \text{ (escalón a sotavento)} = 0,91 \text{ m}$$

de la Figura 9 con  $p_g = 1,0 \text{ kN/m}^2$ , y  $\ell_u = 30,5 \text{ m}$

$$h_d \text{ (escalón de barlovento)} = 3/4 (1,21\text{m}) = 0,91 \text{ m}$$

de la Figura 9 con  $p_g = 1,0 \text{ kN/m}^2$  y  $\ell_u =$  longitud de la cubierta más baja = **52 m**.

Las acumulaciones de nieve arrastrada por viento en este caso son iguales, ninguna es determinante,

Se utiliza  $h_d = 0,91 \text{ m}$ . y  $h_c = 2,7 \text{ m}$

Por ser  $h_d < h_c$ .

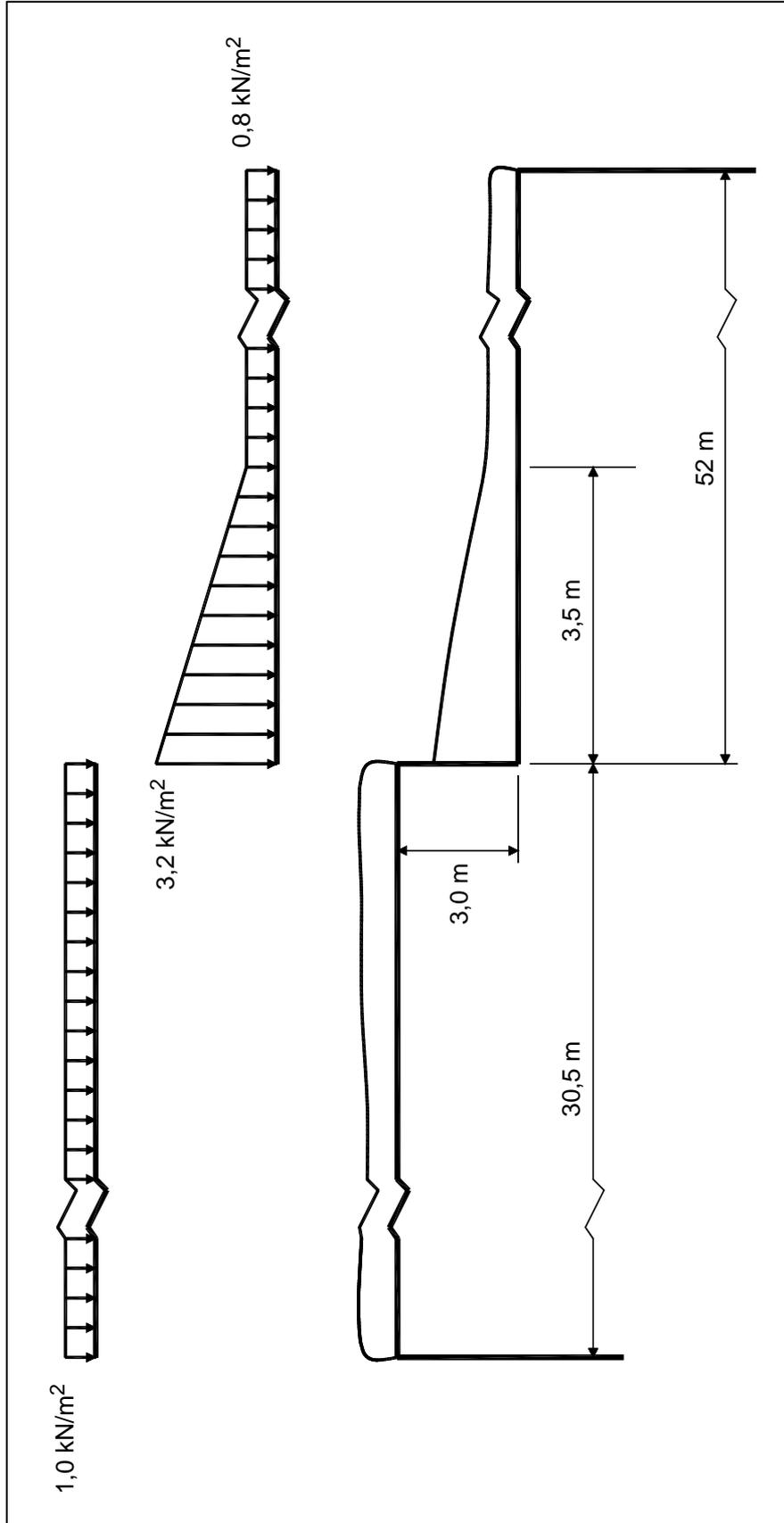
$$w = 4 h_d = 4 (0,91) = 3,64 \cong 3,5 \text{ m}$$

$$p_d = h_d \gamma = 0,9 (2,63) = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

### 3.4. Carga de lluvia sobre nieve

No es necesario considerar una carga de lluvia sobre nieve aún cuando la pendiente es menor que  $2,4^\circ$ , ya que  $p_g$  es igual a  $1,0 \text{ kN/m}^2$ . Además, como la carga mínima de diseño excede a la determinada por medio de la expresión 1, se puede reducir la carga tal como se indica en el Capítulo 10.

En la Figura C 4 se presentan las cargas de nieve sobre ambas cubiertas.



**Figura C 4. Cargas de nieve de diseño para el Ejemplo 3.**



**COMENTARIOS A  
LA ACCIÓN DEL HIELO  
SOBRE LAS  
CONSTRUCCIONES**



# COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1.

## REQUISITOS GENERALES

A los fines de este Reglamento se considera que la lluvia congelante es la causa de las cargas de hielo más severas. En nuestro país no hay valores disponibles de espesores de hielo debidos específicamente al congelamiento dentro de nubes.

Este Reglamento se ha desarrollado en base a las escasas fuentes disponibles de información directa u observaciones de acumulaciones de hielo de cualquier tipo ocurridas naturalmente. Los datos son históricos, incluyen mediciones de todas las formas de acumulación de hielo sobre cables, incluyendo hielo liso, cencellada blanca y nieve adherida, sin que se establezcan diferencias entre ellas.

Los espesores de hielo se han medido sobre cables de varios diámetros, a distintas alturas sobre el nivel del terreno y con diferentes grados de exposición. No se han utilizado técnicas standarizadas para las mediciones. (ver las referencias 58 y 59)

### C 1.1. ESTUDIOS EN LUGARES ESPECÍFICOS

El congelamiento dentro de nubes puede causar cargas significativas sobre las estructuras sensibles al hielo en regiones montañosas o sobre estructuras de alturas significativas en otras áreas, y puede además generar fallas en torres de comunicación.

El congelamiento dentro de nubes se puede combinar con la lluvia congelante. La acumulación de hielo debida al congelamiento dentro de nubes es muy sensible al grado de exposición a nubes cargadas de humedad, lo cual está relacionado con el terreno, su altura, y la dirección y la velocidad del viento. Por esta razón pueden existir grandes diferencias en los tamaños de las acumulaciones en unos pocos cientos de metros y causar severos desbalances de cargas en sistemas de cables aéreos. En estas circunstancias, es particularmente valioso el consejo de un meteorólogo familiarizado con el área.

Las acumulaciones de nieve también pueden generar severas cargas estructurales y pueden suceder en cualquier lugar donde cae nieve, aún en localidades que experimenten sólo uno o dos eventos por año.

Tanto los registros locales como la experiencia se deben considerar para establecer el espesor de hielo de diseño y la velocidad del viento concurrente. Para determinar el equivalente radial del espesor de hielo a partir de datos históricos, se deben considerar la calidad de los datos y la exactitud del algoritmo para la acumulación de hielo. Las estaciones meteorológicas se pueden cerrar durante las tormentas de nieve, el hielo puede cubrir los anemómetros, y los datos de precipitación horaria se pueden registrar sólo después de la tormenta, cuando se derrite el hielo en el calibrador de lluvia. Estos problemas son más severos en estaciones meteorológicas automáticas, donde los observadores no están disponibles para estimar los parámetros del tiempo o corregir lecturas erróneas.

También se debe notar que:

1. Las temperaturas del aire están registradas solamente con aproximación de 1°C, y pueden variar significativamente respecto del valor registrado en la región alrededor de la estación meteorológica.
2. La velocidad del viento durante la lluvia congelante tiene un efecto muy significativo sobre la carga por acumulación de hielo sobre objetos orientados en dirección perpendicular a la del viento.
3. La dirección y la velocidad del viento varían con el terreno y la exposición.
4. Puede ocurrir una precipitación incrementada en el lado a barlovento de un terreno montañoso.
5. El hielo puede permanecer sobre la estructura durante días o semanas después de terminada la lluvia congelante, sometiendo a la estructura helada a velocidades de viento que pueden ser significativamente más altas que aquellas que acompañaron a la lluvia congelante.

Estos factores se deben considerar en la estimación del espesor de la acumulación de hielo en una estación meteorológica durante las tormentas pasadas y para extrapolar espesores a un lugar específico.

Al utilizar datos locales, también se debe enfatizar que los errores de la muestra pueden conducir a grandes incertidumbres en la especificación del espesor de hielo de los 50 años. Los errores de la muestra son errores asociados con el tamaño limitado de los años de registro. Se debe tener mucho cuidado cuando se utilicen registros locales de extensión limitada para determinar espesores de hielo extremos.

Un algoritmo fuerte para la acumulación de hielo no será sensible a pequeños cambios en la entrada de variables. Por ejemplo: debido a que las temperaturas se registran normalmente en grados enteros, la cantidad de acumulación de hielo determinada, no deberá ser sensible a los cambios de temperatura de fracciones de grado.

## **C 1.2. CARGAS DINÁMICAS**

Aunque el diseño para cargas dinámicas no forma parte del campo de validez de este Reglamento, sus efectos son importantes para algunas estructuras sensibles al hielo, y se deben considerar en el diseño cuando se anticipe que tales cargas dinámicas serán significativas. Por ejemplo: en muchas áreas puede ocurrir un galope de gran amplitud en tensores y sistemas aéreos de cables. El movimiento de los cables puede causar daño debido al impacto directo de unos sobre otros o sobre estructuras, también puede haber daño debido al desgaste y fatiga de los cables y otros componentes de la estructura. El desprendimiento de hielo de los tensores de mástiles atirantados puede causar cargas dinámicas substanciales en el mástil.

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2.

### DEFINICIONES

#### Congelamiento dentro de las nubes

Esta condición de congelamiento ocurre cuando una nube o niebla formada por gotitas de agua subfundidas, con un diámetro de **100  $\mu\text{m}$**  o menores, colisionan con una superficie que está a temperatura de congelamiento o inferior. Tiene lugar en áreas montañosas donde el enfriamiento adiabático origina que la saturación de la atmósfera se produzca a temperaturas inferiores al congelamiento, al aire libre en nubes subfundidas y en nieblas subfundidas producidas por una masa de aire estable con una fuerte inversión de temperatura.

Las acumulaciones de hielo dentro de las nubes pueden alcanzar un espesor de **0,30 m** ó más ya que las condiciones de congelamiento pueden incluir fuertes vientos habitualmente persistentes o episódicos, durante largos períodos de temperatura por debajo de la congelación. Las grandes concentraciones de gotitas subfundidas no son habituales en temperaturas del aire inferiores a **-18°C**.

Las acumulaciones de hielo formadas por congelamiento dentro de las nubes, tienen densidades con valores comprendidos entre el de la cencellada blanca y el del hielo liso. Cuando el enfriamiento por convección y evaporación remueve el calor de fusión a la misma velocidad en que es liberado por el congelamiento de las gotitas, dichas gotitas se congelan al impactar sobre un objeto. Cuando la velocidad de enfriamiento es más baja, las gotitas no se congelan completamente con el impacto. El agua no congelada entonces se esparce sobre el objeto y puede fluir completamente alrededor de él y aún gotear formando carámbanos (trozos de hielo largos y puntiagudos). El grado con el cual las gotitas se esparcen al colisionar con la estructura y congelarse, determina cuanto aire se incorpora en la acumulación y por lo tanto su densidad. La densidad de la acumulación de hielo debida al congelamiento dentro de las nubes, varía en un amplio rango, desde **80 a 900  $\text{kg}/\text{m}^3$**  (ver las referencias 13, 23). La acumulación resultante puede ser blanca o clara, posiblemente con carámbanos adheridos.

La cantidad de hielo acumulada durante el congelamiento dentro de una nube depende del tamaño del objeto sobre el que se forma la acumulación, de la duración de las condiciones de congelamiento y de la velocidad del viento. Si, como ocurre a menudo, la velocidad del viento aumenta y la temperatura del aire disminuye con la altura por encima del nivel del terreno, cantidades más grandes de hielo formarán acumulaciones en las estructuras más altas. La forma de la acumulación va a depender de la flexibilidad del elemento estructural, componente o accesorio. Si éste es libre para rotar, tal como un tirante o un largo tramo de un conductor o un alambre individual, el hielo formará una acumulación con una sección transversal aproximadamente circular. Sobre elementos estructurales componentes o accesorios más rígidos, el hielo adoptará formas de banderolas irregulares que se extienden al viento.

## **Escarcha**

La escarcha, que frecuentemente es confundida con la cencellada blanca, se forma por un proceso totalmente diferente. La escarcha es una acumulación de cristales de hielo formada por la deposición directa del vapor de agua del aire sobre un objeto expuesto. Dado que la escarcha se forma sobre las superficies cuyas temperaturas han caído por debajo de la temperatura de congelación del punto de rocío del aire circundante, debido a un fuerte enfriamiento por radiación, a menudo se genera temprano en la mañana, después de una noche fría y clara. Es de apariencia plumosa y habitualmente forma acumulaciones de hasta **25 mm** de espesor con muy poco peso. La escarcha no constituye un problema de carga significativo; sin embargo, es un buen colector de gotitas de niebla subfundidas. Con vientos leves, un cable cubierto con escarcha, puede acumular cencellada blanca más rápidamente que un cable desnudo. (ver la referencia 43)

## **Estructuras sensibles al hielo**

Las estructuras sensibles al hielo son aquellas en las que los efectos de las cargas de congelamiento atmosférico controlan el diseño de parte o todo el sistema estructural. Muchas estructuras abiertas son eficientes colectores de hielo, por lo que las acumulaciones de hielo pueden tener un efecto de carga significativo. La sensibilidad de una estructura abierta a estas cargas depende del tamaño y número de elementos estructurales, componentes y accesorios y también de otras cargas para las cuales se diseña la estructura. Por ejemplo, el peso adicional del hielo que se puede acumular sobre un elemento pesado de alas anchas, será más pequeño en proporción a la carga permanente que el mismo espesor de hielo puede generar sobre un elemento liviano en ángulo. También el porcentaje de incremento en el área proyectada para cargas de viento será menor para el elemento de alas anchas que para el elemento en ángulo. En algunas estructuras abiertas, otras cargas de diseño, como por ejemplo las cargas de nieve y sobrecargas en el piso de una pasarela de inspección, pueden ser mayores que la carga de hielo de diseño.

## **Lluvia congelante**

La lluvia congelante sucede cuando el aire cálido y húmedo es forzado sobre una capa de aire por debajo de la congelación sobre la superficie de la tierra. La precipitación comienza habitualmente como nieve que se derrite, mientras cae a través de la capa de aire cálido superior. Las gotas se enfrían al caer a través de la capa de aire frío de la superficie y se congelan al contacto con las estructuras o con el nivel del terreno.

Los datos del aire en altura indican que la capa de aire frío de la superficie tiene un espesor típico entre 300 m y 1200 m (ver la referencia 55), promediando los 500 m (ver la referencia 8). La capa de aire cálido ubicada más arriba presenta un espesor promedio de 1500 m para el caso de lluvia congelante, pero para el caso de llovizna congelante, el perfil de temperatura completo puede estar por debajo de 0° C (ver la referencia 8).

La cantidad de lluvia y las velocidades del viento habitualmente son bajas o moderadas en las tormentas de lluvia congelante. La cantidad de agua que choca con las superficies, es comúnmente mayor que la velocidad con que dicha agua se congela, entonces el exceso gotea y se puede congelar en carámbanos con una amplia variedad de formas, que van desde una suave vaina cilíndrica, pasando por acumulaciones en medias lunas a barlovento con carámbanos colgando de la parte inferior, hasta grandes protuberancias

irregulares. La forma de una acumulación depende de una combinación de factores meteorológicos variables y de la forma de la sección transversal del elemento estructural, su orientación espacial y su flexibilidad.

La densidad máxima teórica del hielo que se ha establecido en **920 kg/m<sup>3</sup>** nunca se alcanza en acumulaciones formadas naturalmente, debido a la presencia de burbujas de aire.

## **Nieve**

Bajo ciertas condiciones, la nieve que cae sobre los objetos puede adherirse debido a fuerzas capilares, congelamiento interpartículas y/o incrustación. (ver las referencias 11 y 27). En objetos con sección transversal circular, tales como alambres, cables, conductores o tirantes, pueden suceder deslizamientos, deformaciones y/o rotaciones torsionales de estos elementos subyacentes, dando como resultado la formación de un manguito cilíndrico, aún alrededor de haces de cables y conductores. Debido a que la acumulación de nieve frecuentemente está acompañada con vientos fuertes, la densidad de las acumulaciones puede ser mucho mayor que la densidad de la misma nieve caída a nivel del terreno.

Ha sido posible observar acumulaciones de nieve dañinas con temperaturas del aire en las superficies variando desde **-5°C** hasta **2°C**. La nieve con un alto contenido de humedad parece adherirse más rápidamente que la nieve más seca. La nieve que cae con una temperatura del aire en superficie por encima de **0°C** puede formar acumulaciones aún con velocidades de viento por encima de **10 m/s**, produciendo acumulaciones densas, de **600 a 800 kg/m<sup>3</sup>**.

La nieve con menor contenido de humedad no es tan pegajosa, y vuela de la estructura cuando soplan vientos fuertes. Las densidades de estas acumulaciones de nieve varían habitualmente entre **40 y 250 kg/m<sup>3</sup>** (ver la referencia 28). Incluso nieve aparentemente seca, puede formar acumulaciones sobre las estructuras (ver la referencia 14). La resistencia cohesiva de la nieve seca es inicialmente proporcionada por trabazón de los copos y finalmente por sinterizado (incrustación), debido a que la difusión molecular aumenta el área de vínculo entre copos de nieve adyacentes. Estas acumulaciones de nieve seca se forman solo con vientos muy bajos y tienen densidades estimadas entre **80 y 150 kg/m<sup>3</sup>** (ver las referencias 40 y 49).



## **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4.**

### **CARGAS DE HIELO DEBIDAS A LA LLUVIA CONGELANTE**

#### **C 4.1. PESO DEL HIELO**

Los espesores de hielo que se indican en la Tabla 2, se determinaron para cilindros horizontales orientados perpendicularmente al viento. Estos espesores de hielo no se pueden aplicar directamente a secciones transversales diferentes de las secciones circulares, como por ejemplo canales y ángulos. Sin embargo, el área de hielo que se obtiene de la expresión (1) es la misma para todas las formas en las cuales los círculos circunscriptos tienen igual diámetro. Se supone que la dimensión máxima de la sección transversal es perpendicular a la trayectoria de las gotas de lluvia. De la misma forma, el volumen de hielo que se obtiene de la expresión (2) es para una placa plana perpendicular a la trayectoria de las gotas de lluvia. Para cilindros verticales y horizontales paralelos a la dirección del viento, el área de hielo que se obtiene de la expresión (1) es conservativa.

#### **C 4.2. ESPESOR NOMINAL DEL HIELO**

Hay distintos métodos para determinar el espesor de hielo para un intervalo de recurrencia media de 50 años. Para nuestro país y debido a la carencia de los datos necesarios para el estudio estadístico que permita el trazado de un mapa de cargas de hielo para un intervalo de recurrencia de 50 años, se ha decidido incluir un mapa con valores históricos que ha sido habitualmente utilizado para construcciones realizadas en zonas en las que se debe considerar la acción del hielo. (ver las referencias 58 y 59).

#### **Regiones especiales de congelamiento**

La lluvia congelante sólo ocurre bajo condiciones especiales, cuando una capa de aire frío, relativamente superficial en la superficie del terreno, es cubierta por una capa de aire cálido y húmedo a mayor altura. Por esta razón, las tormentas severas de lluvia congelante a grandes alturas, en terrenos montañosos, no sucederán en los mismos sistemas climáticos que originan tormentas severas de lluvia congelante en el aeropuerto más cercano a una estación meteorológica. Más aún, en estas regiones el espesor del hielo y las cargas del viento sobre hielo pueden variar significativamente en cortas distancias debido a las variaciones locales en la altura, topografía y exposición. En regiones montañosas, se deben ajustar los valores dados en el mapa, basándose en los registros históricos locales y en la experiencia, con el fin de considerar la posibilidad de ocurrencia de cargas mayores de hielo debidas a lluvia y niebla congelantes.

#### C 4.4. FACTOR DE IMPORTANCIA

Los factores de importancia para el hielo y el viento concurrente se ajustan al espesor de hielo nominal y a la presión del viento concurrente, para estructuras de categoría I (ver Apéndice B) y para un intervalo de recurrencia media que va de **50** años a **25** años.

Para las estructuras de categorías III y IV, los factores están ajustados a un intervalo de recurrencia media de **100** años.

La velocidad del viento concurrente utilizada con el espesor de hielo nominal se basa en los vientos que acompañan la tormenta de lluvia congelante y en aquellos que suceden en el tiempo transcurrido entre el momento cuando la lluvia congelante cesa y el momento en el que la temperatura se eleva por encima de la congelación. Cuando la temperatura se eleva por encima de la congelación, se supone que el hielo se derrite lo suficiente como para caer de la estructura. En las regiones más frías, el hielo generalmente permanece sobre las estructuras por un período de tiempo más largo, posterior al fin de la tormenta, lo que genera velocidades de viento concurrente más elevadas.

Los resultados del análisis de valores extremos, muestran que las velocidades de viento concurrente no se modifican significativamente con el intervalo de recurrencia media. Sin embargo, la carga de viento sobre hielo lateral sí se incrementa debido a que el espesor de hielo se incrementa. Los factores de importancia difieren de aquellos utilizados para las cargas de viento, porque la distribución de los valores extremos del espesor de hielo y la velocidad del viento concurrente son diferentes de las distribuciones utilizadas para determinar las cargas de viento, Tabla C 1 y artículo C 4.6.

**Tabla C 1. Factores de intervalo de recurrencia media**

<b>Intervalo de recurrencia media</b>	<b>Multiplicador para el espesor del hielo</b>	<b>Multiplicador para la presión de viento</b>
25	0,80	1,0
50	1,00	1,0
100	1,25	1,0
200	1,50	1,0
250	1,60	1,0

#### C 4.6. ESPESOR DE HIELO DE DISEÑO PARA LLUVIA CONGELANTE

La carga de diseño sobre la estructura es un producto entre la carga de diseño nominal y los factores de carga específicos. Los factores de carga para el Método de los Factores de Carga y Resistencia (LRFD) para el hielo atmosférico se deben adoptar igual a **1,0**.

Tanto la Figura 2 como la Tabla 2, indican el espesor de hielo histórico debido a la lluvia congelante y a las velocidades de viento concurrentes.

La probabilidad de exceder el evento de **50 años** en 50 años de vida útil de una estructura es del **64%**. La Tabla C 1. muestra los multiplicadores para el espesor de hielo y la velocidad del viento concurrente en el caso de que el intervalo de recurrencia media de **50 años** se deba ajustar a otros intervalos de recurrencia media. Debido a que el mapa fue trazado con valores históricos, estos coeficientes son de carácter orientativo.

Los estudios de acumulaciones de hielo indican que la velocidad de viento concurrente sobre el hielo no se incrementa con el intervalo de recurrencia media. (Ver el artículo C 4.4.).

Cuando la confiabilidad de un sistema de estructuras o de una estructura interconectada de gran extensión es importante, también se deben considerar los efectos espaciales.

Todas las estructuras de antena de telefonía celular que funcionan en áreas metropolitanas o de una provincia, se pueden considerar como un sistema de estructuras. Las largas líneas eléctricas tendidas en el aire, de transmisión y comunicación, son ejemplos de grandes estructuras interconectadas.

El mapa presentado es apropiado para las cargas de hielo de una estructura única y de pequeña extensión. Los grandes sistemas y las estructuras interconectadas son afectados por tormentas congelantes más frecuentemente que una estructura aislada. La frecuencia de ocurrencia se incrementa en función del área que se abarca y con la extensión lineal. Para obtener los mismos riesgos de exceder la carga de diseño en el mismo clima de congelamiento, las estructuras individuales que forman un sistema o la gran estructura interconectada, se deben diseñar para una carga de hielo mayor que para una estructura única.

Internacionalmente se han publicado varios estudios de los efectos espaciales de las tormentas de hielo y de viento. La referencia 15 presenta un método simple para determinar el riesgo de tormentas de hielo en sistemas extendidos comparados con estructuras únicas. Sus resultados indican que el intervalo de recurrencia media de una carga de hielo dada para una línea de transmisión, decrece cuanto más se incrementa la relación longitud de la línea con respecto al ancho de la tormenta de hielo. Para una relación igual a **2** entre la longitud de la línea y el ancho de la tormenta, por ejemplo, la carga para el intervalo de recurrencia media de **50 años**, tal como la experimenta una sola torre, se reducirá a **17 años** para la línea completa.

En otro estudio internacional, que se describe en la referencia 30, se analizó el espesor máximo anual de hielo de ternas de medidores espaciados **50 km** unos de otros. El espesor de hielo para **50 años** obtenido por el análisis de valores extremos de la terna máxima, promedió el **10%** más alto que aquellos para estaciones únicas.



## **COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5.**

### **VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS CUBIERTAS DE HIELO**

Las acumulaciones de hielo sobre las estructuras modifican los coeficientes de arrastre de viento de la estructura. Las acumulaciones de hielo tienden a redondear los bordes agudos reduciendo los coeficientes de arrastre para elementos tales como ángulos y barras. Las acumulaciones naturales de hielo pueden ser de forma irregular, con una distribución despareja del hielo alrededor del objeto sobre el cual se adhiere. La forma varía de tormenta a tormenta y de un lugar a otro dentro de la tormenta. El área proyectada real de una acumulación de hielo liso puede ser más grande que aquella obtenida al suponer un espesor de hielo uniforme.



## COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6.

### CARGA PARCIAL

Las variaciones en el espesor del hielo debidas a la lluvia congelante sobre objetos ubicados a una altura dada, son pequeñas para distancias de alrededor de **300 m**. Por lo tanto, la carga parcial de una estructura debida a la lluvia congelante, por lo general, no suele ser significativa (ver la referencia 12).

El congelamiento dentro de nubes es afectado más severamente por la velocidad del viento, por lo tanto la carga parcial debida a diferencias en la exposición al congelamiento dentro de nubes, puede ser significativa.

Las diferencias en el espesor del hielo sobre varias estructuras o componentes de una sola estructura están asociadas con diferencias en la exposición. La exposición es una función de la protección que brindan las otras partes de la estructura, y también del terreno a barlovento.

La carga parcial asociada con el derrame de hielo puede ser significativa para acumulaciones de nieve debidas al congelamiento dentro de nubes y en estructuras atirantadas cuando el hielo se derrama desde algunos tirantes antes que de otros.



## REFERENCIAS Acción de la Nieve sobre las Construcciones

1. Ellingwood, B. and Redfield, R. "Ground snow loads for structural design" J.Struct. Engrg, ASCE, 109(4), 950-964, 1983.
2. MacKinlay, I. and Willis, W.E. "Snow country desing" National Endowment for the Arts, Washington, D.C., 1965.
3. Sack, R.L. and Sheikh-Taheeri, A. "Ground and roof snow loads for Idaho" University of Idaho Press, Moscow, Idaho 1986.
4. Structural Engineers Association of Arizona. "Snow load data for Arizona" University of Arizona Tempe, Arizona, 1973.
5. Structural Engineers Association of Colorado. "Snow load design data for Colorado" Denver, Colorado, 1971
6. Structural Engineers Association of Oregon. " Snow load analysis for Oregon" Oregon dept. of Commerce, Building Codes Division, Salem, Oregon, 1971.
7. Structural Engineers Association of Washington. "Snow loads analysis for Washington" Seattle, Washington, 1981.
8. USDA Soil Conservation Service. "Lake Tahoe basin snow load zones" U:S:Dept of Agriculture, Soil Conservation Service, Reno, Nevada, 1970
9. Videon, F.V. and Stenberg, P. "Recommended snow loads for Montana structures" Montana State University, Bozeman, Montana, 1978.
10. Structural Engineers Association of Northern California. "Snow load design datafor the Lake Tahoe area" San Francisco California, 1964.
11. Placer County Building Division. Snow Load Design. Placer County Code, Section 4.20(V), Auburn, California, 1985.
12. Brown, J. "An approach to snow load evaluation" Proc. 38<sup>th</sup> Western Snow Conference, 1970.
13. Newark, M. "A new look at ground snow loads in Canada" Proc. 41<sup>st</sup> Eastern Snow Conference, Washington D.C., 37-48, 1984.
14. Elliot, M. "Snow load criteria for western United States case histories and state of the art" Proc. First
15. Lorenzen, R.T. "Observations of snow and wind loads precipitant to building failures in New York State, 1969/70" American Society of Agricultural Engineers North Atlantic Region meeting, Newark, Del. Paper NA 70-305, August 1970.
16. Lutens, D.A. and Schriever, W.R. Snow accumulation in Canada: Case histories II National Research Council of Canada. DBR Tech. Paper 339. NRCC 11915. Ottawa, Ontario, Canada, 1971.
17. Meehan, J.F. "Snow loads and roof failures" Proc. 1979 Structural Engineers Association of California 1979.
18. Mitchell, G.R. "Snow loads on roofs, An interim report on a survey" In Wind and snow loading. The Construction Press Ltd. Lancaster, England, 177-190, 1978.
19. Peter, B.G.w., Dalgliesh, W.A. and Schriever , W.R. "Variations of snow loads on roofs" Trans. Eng. Inst.Can. 6(A-1), 8, April 1963.

20. Schriever, W.R., Faucher, Y. and Lutens, D.A. Snow accumulation in Canada: Case histories:I. National Research Council of Canada, Division of Building Research, NRCC 9287, Ottawa, Ontario, Canada, 1967.
21. Taylor, D.A. "A survey of snow loads on roofs of arena type buildings in Canada" Can. J. Civ. Engrg. 6(1), 85-96, March 1979.
22. Taylor, D.A. "Roof snow loads in Canada" Can. J. Civ. Engrg. 7(1), 1-18 March 1980.
23. O'Rourke, M., Koch, P. and Redfield, R. "Analysisi of roof snow load case studies: Uniform loads" U.S.Dept of the Army. Cold Regions Research and Engineering Laboratory. CRREL Report 83-1, Hanover, N.H. 1983.
24. Grange, H.L. and Hendrichs, L.T. Roof snow behavior and ice-dam prevention in residential housing. St. Paul. Minn: University of Minnesota, Agricultural Extension Service. Extension Bull. 399, 1976.
25. Klinge, A.F. "Ice dams" Popular Science, 119-120, Nov 1978
26. Mackinley, I. "Architectural design in regions of snow and ice" Proc. First International Conference on Snow Engineering. 441-455, Santa Barbara, California, July 1988.
27. Tobiasson, W. "Roof design in cold regions" Proc. First International Conference on Snow Engineering, 462-482, Santa Barbara, California, July 1988.
28. de Marne, H. "Field experience in control and prevention of leaking from ice-dams in New England" Porc. First International Conference on Snow Engineering, 473-482. Santa Barbara California, July 1988.
29. Tobiasson, W. and Buska, I. "Standing seam metal roofs in cold regions" Proc. 10<sup>th</sup> Conference on Roofing Technology, 34-44, Gaithersburg, Md., April 1993.
30. National Greenhouse Manufacturers Association. "Desing loads in greenhouse structures" Taylors, S.C. 1988.
31. Air Structures Institute. Design and standards manual. ASI-77
32. American Society of Civil Engineers. Air supported structures . ASCE, New York 1994.
33. Sack, R.L. "Snow loads on sloped roofs" J. Struct. Engrg. ASCE, 114(3), 501-517, March 1988.
34. Sack, R., Amholtz, D. and Haldeman, J. "Sloped roof snow loads using simulation" J. Struct. Engrg. ASCE, 113(8), 1820-1833, August 1987.
35. Taylor, D."Sliding snow on sloping roofs" Canadian Building Digest 228. Ottawa, Ontario, Canada. National Research Council of Canada. Nov. 1983.
36. Taylor, D. "Snow loads on sloping roofs: Two pilot studies in the Ottawa area" Division of Building Research Paper, Can. J. Civ. Engrg.,1282(2), 334-343, June 1985.
37. O'Rourke, M., Tobiasson, W. and Wood, E. "Proposed code provisions for drifted snow loads" J. Struct. Engrg. ASCE, 112(9), 2080-2092. Sept. 1986.
38. O'Rourke, M., Speck, R and Stiefel, U. "Drift snow loads on multilevel roofs" J. Struct. Engrg. ASCE, 111(2), 290-306, Feb.1985.
39. Speck, R. Jr. "Analysis of snow loads due to drifting on multilevered roofs" Thesis presented to the Dept of Civil Engrg. at Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y.
40. Taylor, D.A. "Snow loads on two level flat roofs" Proc. Eastern Snow Conference 29, 41<sup>st</sup> Annual Meeting, Washington D.C., June 7-8, 1984.

41. Finney, E. "Snow drift control by highway design" Bulletin 86, Michigan State College Engrg. Station Lansing, Mich. 1939.
42. Tabler, R. "Predicting profiles of snow drifts in topographic catchments" Western Snow Conference, Coronado, California, 1975.
43. Zallen, R. "Roof collapse under snow drift loading and snow drift design criteria" J. Perf. of Constr. Fac, ASCE, 2(2), 80-98, May 1988.
44. O'Rourke, M. and Weitman, N. "Laboratory studies of snow drifts on multilevered roofs" Proc. 2<sup>nd</sup> International Conference Snow Engrg. Sta Barbara, Calif. June 1992.
45. O'Rourke, M. and El Hamadi, K. "Roof snow loads: Drifting against a higher wall" Proc. 55<sup>th</sup> Western Snow Conf. 124-132. Vancouver, B.C. April 1987
46. O'Rourke, M. Discussion of "Roof collapse under snow drift loading and snow drift design criteria" J. Perf of Constr. Fac, ASCE, 266-268, 1989.
47. Kennedy, D., Isyumov, M and Mikitiuk, M. "The effectiveness of code provisions for snow accumulations on stepped roofs" Proc. 2<sup>nd</sup> International Conf Snow Engrg. Santa Barbara, Calif. June 1992.
48. Isyumov, M and Mikitiuk, M. "Wind tunnel modeling of snow accumulation on large roofs" Proc. 2<sup>nd</sup> International Conf. Snow Engrg. Santa Barbara, Calif, June 1992.
49. Irwin, P., William, C., Gamle, S. and Retziaff, R. "Snow prediction in Toronto and the Andes Mountains: FAE simulation capacities" Proc. 2<sup>nd</sup> International Conf. Snow Engrg. Santa Barbara, Calif. June 1992.
50. O'Rourke, M.J. Snow and ice accumulation around solar collector installations. U.S. Dept of Commerce, Nat. Bur. Std., NBS-GCR-79 180 Washington D.C. Aug. 1979
51. Corotis, R.B., Dowding, C.H. and Rossow, E.C. "Snow and ice accumulation at solar collector installations in the Chicago metropolitan area" U.S. Dept of Commerce, Nat. Bur. Stds, NBC-GCR-79 181. Washington D.C. Aug. 1979.
52. Paine, J.C. "Building design for heavy snow areas" Proc. 1<sup>st</sup> International Conference on Snow Engrg, 483-492, Santa Barbara, Calif. 1988.
53. Tobiasson, W., Buska, J. and Greatorex, A. "Snow guards for metal roofs" Proc. 8<sup>th</sup> Conference on Cold Regions Engrg. Fairbanks, Alaska. Aug. 1996.
54. Colbeck, S.C. "Snow loads resulting from rain on snow" U.S. Dept of the Army. Cold Regions Research and Engrg. Lab., CRREL, Rep 77-12, Hanover, N.H., 1977.
55. Colbeck, S.C. "Roof loads resulting from rain on snow : Results of a physical model" Can. J. Civ. Engrg. 4: 482-490, 1977.
56. O'Rourke, M. and Auren, M. "Snow loads on gable roofs" J. Struct. Engrg. ASCE 123(12) 1645-1651, Dec 1997.
57. Tobiasson, W. Discussion of (56). J. Struct. Engrg. ASCE 125(4) 470-471, 1999.
58. O'Rourke, M. and Downey, C. "Rain on snow surcharge for roof design" J. Struct. Engrg. ASCE 127(1), 470-471, 2001
59. Tobiasson, W., Buska, J. and Greatorex, A. "Attic ventilation guidelines to minimize icings at eaves" Interface XVI(1) Roof Consultants Institute, Raleigh, N.C. Jan 1998.
60. Tobiasson, W., Tantillo, T. and Buska, J. "Ventilating cathedral ceilings to prevent problematic icings at their eaves" Proc. North American Conference on Roofing Technology. National Roofing Contractors Association, Rosemont, Ill. Sept. 1999.

61. Tobiasson, W. and Greatorex, A. "Data base and methodology for conducting site specific snow load case studies for the U.S." Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on Snow Engrg., 249-256, Sendai, Japan, May 1996.
62. Tobiasson, W., Buska, J., Greatorex, A., Tirey, J., Fisher, J. and Johnson, S. "Developing ground snow loads for New Hampshire" Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Snow Engineering, Trondheim, Norway, 313-321. June 2000.
63. Tobiasson, W., Buska, J., Greatorex, A., Tirey, J., Fisher, J. and Johnson, S. "Developing ground snow loads for New Hampshire" U.S.Army Corps of Engineers. Engineering Research and Development Center (ERDC), Cold Regions Research and Engrg Lab. (CRREL) Terminal Report ERDL/CRREL TR-02-6, Hanover, N.H. 2001.
64. National Building Code of Canada, 1990
65. SEI/ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and other Structures
66. Reglamento CIRSOC 104 "Acción de la Nieve y del Hielo sobre las Construcciones" Septiembre 1997.

## **REFERENCIAS Acción del Hielo sobre las Construcciones**

1. Abild, J., Andersen, E.Y. y Rosbjerg, L. "The climate of extreme winds at the Great Belt, Denmark" J.Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, 41-44, 521-532, 1992.
2. American National Standards Institute/Electronic Industries Association/TIA. Structural standards for steel towers and antenna supporting structures. EIA/TIA-222F, Electronic Industries Association, Washington, D.C., 1996
3. American Society of Civil Engineers (ASCE) "Loadings for electrical transmission structures by the committee of electrical transmission structures" J. Struct. Div. 108(5), 1088-1105, 1982
4. ASCE Guidelines for electrical transmission line structural loading. ASCE Manuals and Repts. on Engrg. Practice N°74, ASCE, New York, 1991.
5. ASCE Minimum design loads for buildings and other structures. ASCE Standard 7-98, ASCE, Reston, VA., 2000.
6. Bennet, I. "Glaze :Its meteorology and climatology, geographical distribution and economic effects" Techn.Rep. EP-105, Quartermaster Research and Engrg. Center, Environmental Protection Research Div. 1959.
7. Bernstein, B.C. and Brown, B.G. "A climatology of supercooled large drop conditions based upon surface observations and pilot reports of icing" Proc. 7<sup>th</sup> Conf on Aviation Range and Aerospace Meteorology , Long Beach, Calif., 1997.
8. Bocchieri, J.R. "The objective use of upper air soundings to specify precipitation type" Monthly Weather Rev., 108: 596-603, 1980.
9. Canadian Standards Association (CSA) "Overhead lines" CAN/CSA-C22.3 N°1-01, Can. Sldr. Assoc., Rexdale, Ontario, 1987.

10. CSA "Antennas, towers, and antenna-supporting structures" CSA-S37-94, Can. Strd. Assoc., Rexdale, Ontario, 1994.
11. Colbeck, S.C. and Ackley, S.F. "Mechanisms for ice bonding in wet snow accretions on power lines" Proc. 1<sup>st</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing on Structures. U.S. Army CRREL Special Rep. 83-17, Hanover, N.H., 25-30, 1982.
12. Cluts, S. and Angelos, A. "Unbalanced forces on tangent transmission structures" IEEE Winter Power Meeting, Paper N°A77-220-7, 1977.
13. Davis, R.E and Gay, D.A. "Freezing rain and sleet climatology of the Southeastern USA" Research Paper N° 052593, Southeast Regional Climate Center, South Carolina water resources commission , Columbia, SC., 1993
14. Gland, H. and Admirat, P. "Meteorological conditions for wet snow occurrence in France, calculated and measured results in a recent case study on 5 March 1985." Proc., 3<sup>rd</sup> Int Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Canadian Climate Program. Vancouver Canada, 91-96, 1991
15. Golikova, T.N., Golikov, B.F. and Savvaitov, D.S. "Methods of calculating icing loads on overhead lines as spatial constructions" Proc. 1<sup>st</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures, CRREL, Special Rep. 83-17, 341-345, 1982.
16. Goodwin, E.J., Mozer, J.D., DiGioia, A.M.Jr. and Power, B..A. "Predicting ice and snow loads for transmission line design" Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing of Strct. Canadian Climate Pgrm. Vacouver, Canada, 267-275, 1991.
17. Gouze, S.C. and Richmond , M.C. "Meteorological evaluation of the proposed Alaska transmission line routes" Meteorology Research Inc. Altadena, Calif. 1982.
18. Gouze, S.C. and Richmond , M.C. "Meteorological evaluation of the proposed Palmer to Glennallen transmission line routes" Meteorology Research Inc. Altadena, Calif. 1982.
19. GVEA Unpublished data of Golden Valley Electric Assoc, Fairbanks Alaska 1997
20. Hoskings, J.R.M. and Wallis, J.R. "Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution" Technometrics, 29(3), 339-349, 1987.
21. International Standards Organization (ISO) "Atmospheric Icing of Structures" ISO 12494 Preliminary International Standard prepared by Technical Committee ISO/TC 98, Subcommittee SC,1999.
22. International Electrotechnical Commission (IEC) "Loading and Strength of overhead transmission lines International Standard 826", Technical Committee 11, 2<sup>nd</sup> Ed, Geneva, Switzerland, 1990.
23. Jones, K.F. "The density of natural ice accretions related to nondimensional icing parameters" Quarterly J. Royal Meteorological Soc, 116, 477-496, 1990
24. Jones, K.F. "Ice Accretions in Freezing Rain" CRREL Rep. 96-2, Cold Regions Research and Engrg. Laboratory, Hanover, N.H. 1996
25. Jones, K.F. "A simple model for freezing rain loads" Atmospheric Res, 46, 87-97, 1998

26. Jones, K.F. "Extreme ice loads from freezing rain" Rep for the American Lifelines Alliance, 2001.
27. Kuroiwa, D. "A study on ice sintering" Research Rep. 86, US Army CRREL. Hanover, N.H. 1962.
28. Kuroiwa, D. "Icing and snow accretion on electric wires " Research Paper. 123, US Army CRREL. Hanover, N.H. 1965.
29. Langmuir, I. And Blodgett, K. "Mathematical investigation of water droplet trajectories" The collected works of Irving Langmuir, Pergamon Press, Elmsford, N.Y. 335-393, 1946.
30. Laflamme, J. and Periard , G. "The climate of freezing rain over the province of Quebec in Canada, a preliminary analysis" Proc. 7<sup>th</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Chicoutini, Quebec, Canada, 19-24, 1996.
31. Lott, Neal. NCDC Techn. Reps. 93-01 and 93-03, National Climatic Data Center, Aheeville, N.C., 1993.
32. Lott, J.N. and Sittel, M.C. "The February 1994 Ice Storm in the Southeastern U.S." Proc. 7<sup>th</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Chicoutini, Quebec, Canada , 259-264, 1996.
33. Macklin, W.C. "The density and structure of ice formed by accretion" Quarterly J. Royal Meteorological Soc, 88, 30-50, 1962.
34. McCormick, T. and Pohlman, J.C. "Study of compact 220kV line system indicates need for micro-scale meteorological information" Proc 6<sup>th</sup> Int.Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Budapest, Hungary, 1993.
35. Mozer, J.D. and West, R.J. "Analysis of 500kV tower failures" Presented at the 1983 meeting of the Pennsylvania Electric Association, 1983.
36. Mulherin, N.D. "Atmospheric icing and tower collapse in the US" Pres. 7<sup>th</sup> Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Chicoutini, Quebec, Canada.
37. National Electrical Safety Code (NESC) National Electrical Safety Code, 2002 Ed. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 2002.
38. NOAA. (1959 to Present), Storm Data. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington D.C.
39. NPPD. "The storm of March, 29, 1976" Public Relations Dept. Nebraska Public Power District, 1976.
40. Peabody, A.B. "Snow loads on transmission and distribution lines in Alaska" Proc 6<sup>th</sup> Int.Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Budapest, Hungary, 1993.
41. Peterka, J.A. "Improved Extreme Wind Prediction for the US" J.Wind Engrg.and Industrial Aerodynamics, 41-44, 533-541, New York, 1992.

42. Peterka, J.A., Finstad, K. and Pandy, A.K. "Snow and wind loads for tyee transmission line" Cermak Peterka Petersen, Fort Collins, Colo, 1996.
43. Power, B.A. "Estimation of climatic loads for transmission line design" CEA N° ST 198, Canadian Electric Association, Montreal, Quebec, Canada, 1983.
44. Richmond, M.C.,Gouze, S.C. and Anderson, R.S. "Pacific Northwest icing study" Meteorology Research, Altadena, Calif. 1977.
45. Richmond, M.C. "Meteorological evaluation of Bradley Lake hydroelectric project 115kV transmission line route" M.C. Richmond Meteor Consult. Torrance. Calif, 1985
46. Richmond, M.C. "Meteorological evaluation of Tyee Lake hydroelectric project transmission line route, Wrangell to Petersburg" Richmond Meteor Consult. Torrance. Calif, 1991.
47. Richmond, M.C. "Meteorological evaluation of Tyee Lake hydroelectric project transmission line route, Tyee power plant to Wrangell" Richmond Meteor Consult. Torrance. Calif, 1992.
48. Robbins, C.C. and Cortinas, J.V. Jr. "A climatology of freezing rain in the contiguous US. Preliminary results" Preprints 15<sup>th</sup> AMS Conf on Weather Analysis and Forecasting, Norfolk, Va.1996.
49. Sakamoto, Y., Mizushima,K. and Kawanishi, S. "Dry snow type accretion on overhead wires: growing mechanism, meteorological conditions under which it occurs and effect on power lines" Proc. 5<sup>th</sup> Int.Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Tokyo.Japan, 1990.
50. Shan, L. and Marr, L. "Ice storm data base and ice severity maps" Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif.1996.
51. Tattelman, P. and Gringorten, I. "Estimated glaze ice and wind loads at the Earth's surface for the contiguous US" Air Force Cambridge Research Labs. Rep. AFCRL-TR -73-0646, 1973.
52. United States Forest Service (USFS) Forest Service Handbook FSH6609.14 Telecommunications Handbook, R3 Supplement 6609, 14-94-2 Effective 5/2/94, US Forest Service, Washington D.C., 1994.
53. Wang, Q.J. "The POT model described by the generalized Pareto distribution with Poisson arrival rate" J. Hydro, 129: 263-280, 1991.
54. Yip, T.C. "Estimating icing amounts caused by freezing precipitation in Canada" Proc. 6<sup>th</sup> Int.Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Budapest, Hungary, 1993.
55. Young, W.R. "Freezing precipitation in the Southeastern US" M.S.Thesis, Texas A&M Univ, 1978.
56. International Meteorological Vocabulary. 2<sup>nd</sup> Edition. WMO/OMM/BMO 182 Secretariat of the World Meteorological Organization, Genva, Switzerland.

57. Reglamento CIRSOC 104 "Acción de la Nieve y el Hielo sobre las Construcciones" septiembre 1997.
58. Reglamento CIRSOC 306 "Estructuras de Acero para Antenas" diciembre 1992.
59. GC-IE-T-N° 1 "Líneas Aereas de Transmisión de Energía Eléctrica" AyEE 62/79
60. SEI/ASCE 7-02 Minimum design loads for buildings and other structures Revision of ASCE 7-98